Der bau der ede

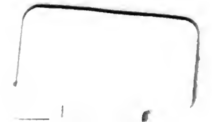
Leopold Kober

Digitized by Google

T/2864

40 r

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS



Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google



Physische Karte der Erde von Dr. H. Haack (Justus Perthes, Gotha) mit Ergänzungen von L. Kober.
Die neuen Tiefen der Meere sind hier nicht eingetragen. In den Kontinentalmassen wurden gewisse Züge, so die des zweiseitigen Baues der orogenetischen Zonen, dann die Schollengebirge, ihre Bögen (in Asien), das Gebirge von Tibesti in Nordafrika, dann die Höhenstufen 200—500 m schärfer hervorgehoben, verstärkt oder etwas schematisiert, um den Typus des Baues hervortreten zu lassen. Siehe die tektonische Übersicht.

Digitized by Google

Der Bau der Erde

von

Dr. Leopold Kober
a. o. Professor der Geologie der Universität Wien

Mit 46 Figuren im Text und 2 Tafeln
(Morphologische und tektonische Übersicht der Erde)

Berlin
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12a
1921

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS



Alle Rechte,
insbesondere das Recht der Übersetzung in fremde Sprachen, vorbehalten
Copyright 1921, by Gebrüder Borntraeger in Berlin

Druck von E. Buchbinder (H. Duske) in Neuruppin

Digitized by Google

Vorwort

Den Bau der Erde, seine Entwicklung, in den allgemeinen Zügen darzustellen, ist die Aufgabe dieses Buches. Es ist kein Lehrbuch im üblichen Sinne, da eine Reihe neuer Vorstellungen hier aufgenommen sind, die erst zur Diskussion gestellt werden. Wie weit sie berechtigt sind, wird die Zukunft lehren.

Ich bin mir der großen Schwierigkeiten der Aufgabe bewußt. Aber es ist notwendig, eine Übersicht der tektonischen Phänomene der Erde zu schaffen, die geeignet ist, in den Bau der Erde und seine Probleme einzuführen. Ein derartiges Buch existiert bisher nicht. Dies ist ein Mangel, der vom Lehrer wie vom Studierenden in der gleichen Weise empfunden wird.

Bei der allgemeinen Bedeutung des Gegenstandes war ich bestrebt, das Buch auch weiteren Kreisen zugänglich zu machen.

Ein reiches Material an Erfahrungen über den Bau der Erde liegt bisher vor. Es ist notwendig, dieses zusammenzufassen, zu ordnen, den Bau der Erde, seine Genetik, systematisch zu betrachten. Eine Reihe großer allgemeiner Züge lassen sich erkennen, die bisher vielleicht nicht gewürdigt worden sind.

Die Arbeit selbst ist das Ergebnis langjähriger Studien im Felde und der Literatur. Es ist nicht möglich, die benutzte Literatur in ihrer Gänze zu zitieren. Dadurch würde der Umfang des Buches ungebührlich vergrößert werden.

Dankend gedenke ich der Arbeiten, aus denen ich Belehrung geschöpft habe, und füge zugleich den Wunsch an, das Buch als einen **ersten** Versuch einer Einführung in die Geotektonik zu betrachten, der die Aufmerksamkeit auf die geotektonische Forschung lenken soll.

Wien, Juni 1920

L. Kober


Digitized by

Inhalt

Digitized by Google

I. Einleitung.

Bevor wir auf den eigentlichen Gegenstand unserer Aufgabe eingehen, erscheint es zweckmäßig, eine Orientierung vorauszuschicken, die den Boden für die folgenden Ausführungen vorbereiten und das Verständnis des Ganzen erleichtern soll.

Die Entwicklung der Erde.

Die geologische Erfahrung lehrt, daß der gegenwärtige Bau der Erde das Ergebnis eines langen Entwicklungsprozesses ist, der mit dem Momente der Existenz der Erde als selbständiger kosmischer Körper begonnen hat, und der in einheitlichem geschlossenen Zuge durch die geologischen Epochen hindurch bis in die Gegenwart fortdauert.

Dieser lange Entwicklungsprozeß kann mit dem Beginn der geologischen Zeitrechnung, also vom Archäikum an, mehr oder weniger scharf bis in die Gegenwart verfolgt werden. Den Verlauf der Entwicklung der Erde vor dieser Zeit können wir durch keine direkte Beobachtung ermitteln. Wir vermögen nur aus Analogieerscheinungen im Kosmos auf den wahrscheinlichen Entwicklungsgang zu schließen.

Gliederung der Entwicklungsgeschichte der Erde.

Der gesamte Entwicklungsgang der Erde zerfällt, vom geologischen Gesichtspunkte gesehen, in zwei große Abschnitte, die wir hier kurz *die vorgeologische* und die geologische Zeit der Erdentwicklung nennen wollen.

Die Trennung der Entwicklung der Erde in diese zwei großen Abschnitte ist in der Natur des ganzen Entwicklungsganges bedingt und vor allem in der menschlichen Erkenntnis. Es sind zwei Phasen der Erdentwicklung, die in bezug auf die Dauer der Zeiträume, in bezug auf die Phänomene wesentlich von einander abweichen, und die überhaupt in der Genetik der Erde ganz verschiedene Phasen bilden.

Wenn wir die wahre Bedeutung dieser beiden Perioden erfassen, erhalten wir einen viel richtigeren Blick für die Beurteilung der geologischen Zeit überhaupt.

Digitized by Google

Die vorgeologische Zeit.

Nach unserer Auffassung repräsentiert die vorgeologische Zeit der Erdentwicklung jenen Abschnitt, der mit der Existenz der Erde beginnt und bis zum Beginn der geologischen Zeitrechnung, bis zum Archäikum, andauert.

Das ist das Sternenzeitalter der Erde. Die Erde ist ein selbstleuchtender Körper, ohne feste Rinde, ohne Leben. Es ist die Zeit der Erdentwicklung, die mit der Existenz als gasförmiger Körper (im Sinne von Kant und Laplace) begonnen, und die mit der Bildung einer Erstarrungskruste geendet hat. Es ist die Zeit der großen Massenkonzentration und -Kondensation vom leuchtenden Gasball zum dunklen erstarrten Weltkörper, die Zeit der allgemeinen Anordnung der Massen nach der Schwere. Die Bildung des Mondes, die Bildung der Atmosphäre, der Hydrosphäre, der Lithosphäre, die Bildung der Urozeane, der Urkontinente, gehören diesem Zeitraume an.

Mit der Existenz dieser Verhältnisse sind bereits die Grundlagen geschaffen für die folgende zweite große Phase.

Die vorgeologische Zeit umfaßt unendlich längere Zeiträume als die geologische Zeit. Wie diese können wir auch die vorgeologische Zeit in einzelne Perioden gliedern, die wir aber hier nicht anführen wollen. Im großen und ganzen sind sie in obigen Ausführungen enthalten.

Die geologische Zeit.

Sie ist die Geschichte der Erde als dunkler Weltkörper. Sie ist die Geschichte der Umformung der erstarrten festen Erde, die Geschichte des Lebens. Alles Geschehen in dieser Zeit der Erdentwicklung verläuft im gleichen Milieu. Die geologische Zeit verschmilzt mit der Gegenwart zu einer Einheit. Der gegenwärtige Zustand der Erdoberfläche, des Lebens, ist das Ergebnis der Veränderungen der Erde während der geologischen Zeit. Die Erde hat in dieser Zeit eine weitgehende Stabilität des Geschehens erreicht. Bestimmte Züge treten hervor und erscheinen in vollster Abhängigkeit von alten Grundlinien.

Dies kommt in der Grundlage der geologischen Wissenschaft, in dem Aktualitätsprinzip von Ch. Lyell, deutlich zum Ausdruck.

Die geologische Zeit umfaßt vom Archäikum bis zur Gegenwart große Zeiträume, wenn wir sie mit menschlichem Maße beurteilen, oder wenn wir das Leben der Erde als Ganzes betrachten. Zweifellos sind die Veränderungen, die Entwicklung des Lebens der Erde in der geologischen Zeit groß. Es ist aber zu bedenken, daß das Leben viel plastischer, anpassungs- und entwicklungsfähiger ist als die Welt des Anorganischen. Auch hier finden sich große Veränderungen. Doch diese gehen langsamer vor sich, laufen in festen Grundmauern.



Digitized by Google

Die geologische Zeit ist die Geschichte der erstarrten dunklen Erde. Diese Zeit ist gegenüber der vorgeologischen kürzer. Sie ist vielleicht mit einer der Phasen der vorgeologischen Zeit vergleichbar. Sicher ist jedenfalls, daß die geologische Zeit der Erdgeschichte in bezug auf die Gesamtentwicklung der Erde vom glühenden Gasball bis zum gegenwärtigen Zustand einen relativ kurzen Zeitraum umfaßt.

Die ältere geologische Zeit.

Wenn wir wiederum die Erfahrungen der geologischen Zeit überschauen, so erkennen wir, daß wir über die ältere Phase dieser Zeit, über das Archäikum und das Proterozoikum, wenig Sicheres wissen. Es zeigt sich, daß jedenfalls das Leben eine gewisse Organisationshöhe erreicht hat, daß Ozeane und Kontinente, daß Ebenen und Gebirge vorhanden waren, daß Klimadifferenzierungen bestanden. Die Gebirge wurden abgetragen. Weite Einebnungsflächen lassen sich erkennen. Wüstengesteine und Schichten aus vergletscherten Gegenden sind bekannt geworden.

Die Geologie lehrt, daß diese ältere geologische Zeit gegenüber der jüngeren eine gewisse Selbständigkeit besitzt, daß sie Zeiträume umfaßt, die jedenfalls länger sind als alle folgenden Formationen zusammen.

Die jüngere geologische Zeit.

Es ist jener Abschnitt der Erdgeschichte, den wir zur Zeit genauer kennen. Er beginnt mit dem Paläozoikum. Wenn wir das Paläozoikum mit dem Mesozoikum vergleichen, so sehen wir, wie viel tiefer der Einblick in die Geschichte des Mesozoiknm ist als beim Paläozoikum. Vom Mesozoikum an läßt sich die Geschichte der Erde in ihren Kontinenten und Ozeanen genauer verfolgen.

Was wir Geologie der Erde nennen, ist im Grunde Geologie vom Paläozoikum an, also eines recht bescheidenen Abschnittes der Erdentwicklung, wenn wir den Gesamtgang betrachten.

Wir werden dann das geologische Geschehen der Erde einsichtiger beurteilen können nnd verstehen, warum in der Erdgeschichte so oft die gleichen Erscheinnngen wiederkehren, sich in Perioden wiederholen. Wir sehen, wie sich in der Erde alte Baupläne nachweisen lassen. Wir werden zugleich aber auch vorsichtiger sein müssen, wenn wir uns die Geologie des Paläozoikum oder gar des Archäikum vor Augen halten.

Die zyklische Entwicklung der Erde.

Wenn wir die Entwicklung der Erde in bezug auf ihre Phänomene überblicken, so sehen wir eine merkwürdige Reihenfolge der Ereignisse.

Die geologische Erfahrung lehrt, daß Zeiten ruhiger Entwicklung mit sogenannten kritischen Zeiten (Le Conte) wechseln. In

Digitized by Google

der Überschätzung der kritischen Zeiten besonders in bezug auf das Leben ist Cuvier zur Katastrophenlehre gekommen (D'Orbigny). Diese Kataklismentheorie lebt in neuer Zeit in gemildertem Sinne in der Paroxismentheorie Salomons wieder auf, in der Vorstellung, daß die Erdentwicklung keinen so gleichmäßigen Gang hat, wie man nach der Aktualitätslehre von Lyell lange Zeit geglaubt hat, sondern sich aus großen und kleinen Paroxysmen mit dazwischenliegenden Perioden verhältnismäßig ruhiger Entwicklung zusammensetzt.

In der Wiederbelebung alter Vorstellung nehmen wir mit Stille eine Phasenentwicklung der Erde an, in dem Sinne, daß Zeiten ruhiger Entwicklung mit solchen einer gesteigerten Entwicklung wechseln. Die Zeiten der Ruhe sind Evolution, die kritischen Zeiten dagegen Revolution genannt worden.

Die Geologie lehrt, daß die Zeiten wechselweise folgen und mit bestimmten immer wiederkehrenden Phänomenen verbunden sind. Wir gelangen so zur Vorstellung einer natürlichen periodischen Erdentwicklung in der geologischen Zeit.

Diese natürlichen Perioden nennen wir Zyklen.

Jeder Zyklus setzt sich aus einer Reihe von Ereignissen zusammen, und die Erdgeschichte ist im Grunde die Summation dieser Zyklen oder die Geschichte der Zyklen.

Zusammensetzung der Zyklen.

Die Entwicklung der Erde ist in einen Rahmen gepreßt. Es kehren dieselben Erscheinungen wieder, wie die Glieder einer Kette fest aneinandergefügt und genetisch verbunden. Wir unterscheiden in jedem Zyklus folgende Phasen und Phänomene.

Phase der Evolution.

Sie ist charakterisiert durch eine scheinbar ruhigere Entwicklung der Erde, die sich besonders in der Meeresbildung äußert. Große Teile des Festlandes werden zu Ozeanbecken, ohne daß sich in der Erdgeschichte jene gewaltigen Störungen zeigen, die die revolutionäre Phase kennzeichnen. Zweifellos sind auch die Vorgänge der Meeresbildung mit tiefgehenden Störungen in der Erdrinde verbunden, nur verändern sie nicht in so weitgehendem Maße das tektonische Verhalten der Erde. Auf diesem Wege entstehen die Geosynklinalen der Erde (ozeanischen Becken).

Hand in Hand damit geht eine durch geologische Perioden andauernde Sedimentbildung. Mächtige Schichtserien werden am Boden der Ozeane abgelagert. Es sind dies die ozeanischen Entwicklungen der Formationen, die in den Kettengebirgen der Erde zutage treten, als deutlicher Beweis, daß die Geosynklinalbildung und die

Digitized by Google

Gebirgsbildung, wie dies Dana zuerst erkannt hat, genetisch miteinander verbunden sind.

Phase der Revolution.

Der wichtigste Akt ist die Gebirgsbildung. Sie führt zur Auspressung der Geosynklinalen, die durch Perioden hindurch andauert, zum Aufbau erdumspannender Kettengebirge, zu weitgehenden Umformungen der Erdrinde, zu Umlagerungen der Massen des Erdkörpers. Es ist ein gewaltiger Prozeß der Erdentwicklung, in dem sich die Kontraktion der Erde in der schärfsten Form äußert, und der das Gleichgewicht der Erde in empfindlicher Weise stört. Dies kommt im tektonischen Bilde der Erde klar zum Ausdruck durch die Bildung der orogenetischen Zonen.

Bei der Größe dieser orogenetischen Bewegungen wird es begreiflich, wenn damit auch Klimaveränderungen verbunden sind. Wenigstens finden sich diese im engsten Zusammenhange mit den gebirgsbildenden Prozessen und so taucht in neuerer Zeit die Vorstellung auf, daß auch die Eiszeiten dem Zyklus angehören. Sie sind gleichsam die letzten Erscheinungen, der Abschluß der Gebirgsbildung. Die Auftürmung wolkenragender Ketten bringt naturgemäß eine Verschlechterung des Klimas (Vergletscherung) mit sich und kann so zu einer kalten Klimaphase führen (Ramsay).

Die gewaltigen Niveaudifferenzen, die durch den Aufstau der Kettengebirge geschaffen wurden, bilden keine stabilen Formen. Ihre Existenz ist eng begrenzt. Sie werden zerstört und abgetragen, eingeebnet. So kommen weitausgedehnte Abtragungsflächen, Fastebenen, Peneplains, zustande. Erst diese sind stabilere Formen und können zu dauernden werden. Damit kann wieder eine Veränderung des Klimas zustande kommen (wärmere Klimaphase).

In der Phase der Evolution sinken große Teile der Erde in die Tiefe, werden zu Ozeanböden, in der Phase der Revolution dagegen steigen die ozeanischen Felder größtenteils wieder in die Höhe, werden zu Gebirgen, die zentripetale Tendenz der Evolution wird in der Revolution in eine zentrifugale Bewegungsrichtung gewisser Erdstreifen umgekehrt. Und doch sind im Grunde beide Bewegungstendenzen der Ausfluß einer letzten Ursache, nur mit dem Unterschiede, daß die Revolution mit ihrer zentrifugalen Bewegungstendenz gewalttätiger und erdumformender erscheint. Sie ist gleichsam die gesteigerte Evolution.

Die Zyklen der geologischen Zeit.

Solche Zyklen sind in der Erdgeschichte mehrfach aufeinander gefolgt. Hier ist nicht der Ort, dies näher auseinander zu setzen. Es wird sich im Laufe der Darstellungen später ergeben. Hier soll nur

Digitized by Google

auf die Erscheinung als solche hingewiesen werden, die sich als ein allgemeines Ergebnis der geologischen Forschung darstellt, daß wir nämlich in der Entwicklungsgeschichte der Erde eine Anzahl von Zyklen unterscheiden können, wenngleich auch die genauere Zahl derselben sich nicht feststellen läßt.

So viel scheint sicher zu sein, daß in der älteren geologischen Zeit offenbar schon mehrere solcher Zyklen abgelaufen sind. Dies bezeugen die verschiedenen Gebirgsbildungen, die dazwischen liegenden Einebnungen, die glazialen Sedimente u. dgl.

In der jüngeren geologischen Zeit dürften dem Paläozoikum 1—2 Zyklen entsprechen und vielleicht ebensoviele der ganzen folgenden Zeit.

Aus dieser Folge der Zyklen ergibt sich klar der rythmische Charakter der Erdentwicklung. Perioden treten scharf heraus. Es ist auch der Versuch gemacht worden (Chamberlain), diese Zyklengliederung an die Stelle unserer geologischen Perioden zu setzen, z. T. mit Recht, besonders dann, wenn die Zyklengrenzen mit den Grenzen der geologischen Perioden zusammenfallen. Bei der Abhängigkeit des Lebens von seinem Milieu müssen sich die geologischen Veränderungen der Erdoberfläche in der Lebewelt abspiegeln und so kann es zu einer Übereinstimmung kommen zwischen den Zyklen, die auf die Veränderungen der Erdrinde basiert sind und den geologischen Perioden, die sich auf den Veränderungen der Lebewelt aufbauen.

Der Schauplatz der Zyklen.

Die Zyklen lassen sich an der Gebirgsbildung am besten erkennen. Diese ist an bestimmte Zonen der Erde gebunden, an die Geo synklinalen (orogenetischen Zonen). So kommt es, daß sich die Zyklen besonders gut in den Geosynklinalen erkennen lassen. Dies gibt eine Vorstellung von der Bedeutung der Geosynklinalen für die Erdgeschichte. Den vollständigen Ablauf eines solchen geosynklinalen oder orogenetischen Zyklus wollen wir einen normalen nennen und ihn unterscheiden von den anormalen Zyklen, die dadurch entstehen können, daß eben Teile des Zyklus ausfallen. Solche anormale oder unvollständige Zyklen können wir uns im geosynklinalen Felde denken, vor allem aber in den kontinentalen Schollen. Hier verlaufen die Zyklen wesentlich gleich, aber in ihrer Intensität verschieden, indem Meeresbildung oder Gebirgsbildung nicht jenes große Ausmaß erreichen wie im geosynklinalen Felde.

In diesem folgen die Zyklen in ihrer Reinheit, dort aber verharren gewisse Stadien durch längere Zeit, z. B. das Peneplainstadium.

Die Zyklen der kontinentalen Felder sind gewissermaßen kleine Abbilder der geosynklinalen Zyklen, indem in vieler Hinsicht der Ein-

Digitized by Google

druck entsteht, wie wenn die Zyklen der kontinentalen Felder nur die Ausklänge der geosynklinalen Zyklen wären. So sehen wir im Stadium der Meeresbildung den Ozean in Form von Transgressionen über die Kontinentalschollen hinweg gehen. Es ist aber nur eine epikontinentale See. Es folgt das Stadium der Sedimentbildung. Wieder sind es nur epikontinentale Ablagerungen. Auch die Gebirgsbildungen sind nur Ausklänge der großen Orogenbewegungen und lokalisieren sich auf der Kontinentalscholle und klingen aus. So sind die Dislokationen keine so gewaltigen, die Niveaudifferenzen im allgemeinen keine so großen, die Abtragungen keine so weitgehenden. Das ganze ist konstanter, fester gefügt in einen Rahmen, die Gegensätze nicht so krass, Evolution und Revolution verlaufen ruhiger. Das Land ist fest und dauernd und so kann man mit Recht mit Stille von einem Dauerland sprechen. Dieses ist im Sinne von E. Suess wirklich ein Asyl für die Lebewelt des festen Landes und steht somit im starken Gegensatz zum Wechselland der Geosynklinale.

Der Endeffekt der Zyklen.

Die Zyklen gipfeln in der Gebirgsbildung. Diese erscheint als der Endeffekt eines Zyklus. Die Gebirgsbildung ist aber nichts anderes als eine Raumverringerung. Gebirgsbildung ist eine die Erde umfassende, in der Erdgeschichte immer wiederkehrende Erscheinung. Wo immer wir auf der Erde die ältesten Schichten erforschen, finden wir das gleiche Bild gefalteter Gesteinsserien.

So ist die Gebirgsbildung ein allgemeiner geologischer Prozeß, dem eine allgemeine Ursache zugrunde liegen muß. Diese sehen wir in der steten und allmählichen Erkaltung des Erdkörpers als einer Folge der allgemeinen Massenkondensation und -Kontraktion, die die Erde von Anbeginn an beherrscht.

Das geogenetische Grundgesetz.

Wie immer wir uns die Entwicklung der Erde denken mögen — sei es im Sinne der Nebularhypothese von Kant und Laplace, oder im Sinne der Anhäufungstheorien, entweder der älteren Meteoritentheorien von G. Darwin und N. Lockyer, oder der neueren Planetesimalhypothese von Th. C. Chamberlain — immer vereinigen sich alle diese verschiedenen Anschauungen wie in einem Brennpunkte, in der Vorstellung, der allgemeinen Massenkondensation und -Kontraktion des Erdkörpers. Diese fortwährende Zusammenziehung, Verdichtung der Massen ist die Ursache der der Erde immanenten Tendenz der Verkleinerung, und sie wird in normalem Verlaufe solange dauern, bis die Erde erkaltet und keine weitere Verdichtung der Massen möglich ist. Diesen kosmischen Werdegang nennen wir die Entwicklung des Planeten. Sie ist eine

Digitized by Google

Entwicklung in dem Sinne, daß die ursprünglich größtmöglichste Verdünnung der Massen zu der größtmöglichsten Verdichtung führt.

Diese Erscheinung ist offenbar ein kosmisches Gesetz und beherrscht den Entwicklungsgang der Erde. Er führt durch verschiedene Stadien der Massenverdichtung der Erde. Es mögen viele solcher Phasen gewesen sein. Sie mögen lange angedauert haben. Der Verdichtungsprozeß kann vielleicht lokal oder zeitlich verzögert worden sein. Aber aufgehalten ist er nicht worden. Er muß ablaufen, solange nicht dieser Prozeß von außen her gestört wird.

So liegt in diesem Entwicklungsprozeß gleichsam das Leben der Erde eingeschlossen. Geburt, Jugendstadium, Reife, Altersstadium werden wir zu scheiden haben. Die Erkaltung des Planeten führt gewissermaßen zum kosmischen Tode der Erde.

Der gegenwärtige Zustand der Erde ist jedenfalls schon ein reiferes Stadium der Entwicklung. Die Entgasung, Abkühlung, die Verdichtung, mit einem Worte die Erkaltung des Planeten ist schon weit fortgeschritten. Aber sie ist nicht am Ende.

So kommen wir zur Grundlage, auf der unsere Anschauungen aufgebaut sind, und die auch in der Geologie von der Großzahl der Forscher als die erste Ursache der Entwicklung der Erde angesehen wird, d. i. die stetige Schrumpfung des Erdkörpers, die Kontraktion, infolge der Abkühlung, der Entgasung, der Verdichtung der Massen.

Die Kontraktion des Erdkörpers ist der primäre Grund der Erdentwicklung. Eine Reihe von Forschern lehnen die Kontraktion der Erde ab, führen Einwände an, die wir bei konsequenter Analyse der Verhältnisse der Natur im Laufe der Ausführungen zu widerlegen vermögen. Freilich, die Kontraktion ist nicht die einzige Quelle. Neben ihr ergeben sich noch andere sekundäre Kräfte, die mitwirken. So werden Veränderungen der Rotationsgeschwindigkeit des Erdkörpers, Gleichgewichtsstörungen, Massenverlagerungen, Störungen in der magmatischen Sphäre, auch zu Kraftquellen werden. Sie wirken in irgend einer Weise auf die Erdentwicklung ein. So können radioaktive Vorgänge der Erdrinde vielleicht sogar wärmebindend wirken, sie werden aber nicht imstande sein, den großen allgemeinen kosmischen Entwicklungsgang der allmählichen Erkaltung und Schrumpfung des Erdkörpers aufzuhalten.

Alle Erscheinungen des Baues der Erde sprechen für die Kontraktion der Erde. Diese äußert sich vor allem in der Gebirgsbildung. Gerade die Gebirge zeigen in ihrem Bau die deutliche Verkleinerung der Erde. Das ist allgemein anerkannt. Zugleich ist die Gebirgsbildung ein allgemeiner tellurischer Prozeß. Er geht durch alle Formationen. Er zeigt sich in allen Teilen der Erde. Wo immer wir durch die Schichten der Oberfläche der Erde in die Tiefe gehen, finden wir gefaltete Gesteine.

Digitized by Google

Die Kontraktion der Erde zeigt sich in den großen Einbrüchen der ozeanischen Becken und in der Zertrümmerung des Festlandes.

Betrachten wir das große geologische Bild, das der Bau der Erde bietet, lassen wir uns von der gewaltigen Fülle der Tatsachen führen, die uns entgegentreten, so sehen wir, daß das geologische Bild der Erde von der ältesten Zeit bis zur Gegenwart immer und immer wieder nur eine Verkleinerung des Erdkörpers zeigt.

Wie zur Zeit die Deszendenzlehre keine Hypothese, keine Theorie, sondern eben eine Lehre ist, da alle Tatsachen für sie überzeugend sprechen, so ist auch die Kontraktionslehre keine Hypothese, keine Theorie mehr, sondern eine auf festen Tatsachen aufgebaute Lehre. Heim sagt daher mit Recht, die Schrumpfung der Erdrinde ist keine Hypothese, sondern lediglich der Ausdruck dessen, was sich beobachten läßt.

Die vertikale Gliederung des Erdkörpers.

„Wenn wir alle bisherigen Kenntnisse über den Bau und die Erscheinungen der Erdrinde, die Untersuchungen der Geophysik, (Arrhenius, Wiechert), der Astronomie und alle wahrscheinlichen Vermutungen zusammenfassen, so gewinnen wir folgendes Annäherungsbild vom Schalenbau der Erde.

(Wir folgen hier im allgemeinen der Darstellung, die Heim jüngst gegeben hat.)

Wohl 99% der Gesteine der äußeren Schalen bestehen nur aus den Elementen O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na und K.

I. Die äußerste feste Schale. Sedimentgesteine. Diese sind aus den Gesteinen der zunächst tieferen Schalen durch Verwitterung, Wasser- und Windtransport und Wiederabsatz (chemisch, mechanisch, organogen) entstanden, in ursprünglich annähernd horizontale Schichten geordnet, bis über 1000 m mächtig. Spezifisches Gewicht 2,1—2,9, im Mittel 2,6. (Stratosphäre.)

II. „Sal“ (von Suess, ein nach dem chemischen Zeichen der vorherrschenden Bestandteile gebildetes Wort). Dies ist die Schale der vorherrschenden Aluminiumsilikate. Hauptgesteine sind Gneise, sowie kristalline Schiefer, metamorphe Gesteine, ferner Granite, Porphyre und andere verwandte silizienreiche („saure“) Erstarrungsgesteine. Mittleres spezifisches Gewicht 2,7.

Deutlich zeigt sich, daß mit größerer Tiefe des Gesteinsursprunges (Eruptionsherde) Aluminium, Kalium und Natrium abnehmen, Kalzium und besonders Magnesium und Eisen zunehmen. Die leichten kieselsäurereicheren, 60—70% Kieselsäure enthaltenden, sauren, salischen Eruptivgesteine der älteren Zeit sind ungeheuer ausgebreitet. Später wurden die Eruptionen meist lokalisierter; sie stammen aus größerer


Digitized by Google

Tiefe und bestehen aus dichteren, kieselsäureärmeren (30—60% Kieselsäure) Gesteinen.

III. „Sima“ (Suess) ist die nächsttiefere Zone der vorherrschend magnesiumreichen und basischeren Silikate, von 2,8—4 spezifischem Gewicht. Man bezeichnet diese Gesteine als Grünsteine oder Ophiolite. Hierher gehören: Diorit, Diabas, Gabbro, Peridotit, Dunit, Norit, Serpentin, auch alle basischen Laven, wie Basalte, Melaphyre, und ähnliche mehr. Die Gesteine der Zone Sima sind schon reich an Erzausscheidungen; Chromeisen, Nickel, Tellur, Platin, Gold, Kupfer kommen darin vor. Begleitende Gänge enthalten oft in ihren oberen Teilen Zinnerze, tiefer Eisen, Blei, Kupfer, Silbererze, noch tiefer Kobalt und Uranerze. Diese gangförmigen Ausläufer aus größerer Tiefe sprechen uns von dem Reichtum an Schwermetallen, der dort vorhanden sein muß.

Die instrumentellen Erdbebenbeobachtungen haben ergeben, daß die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erdbebenerschütterungen mit der Dichte und der gepreßten Geschlossenheit des sie leitenden Gesteines stark zunimmt. Wiechert und seine Schüler haben aus den Kurven der Seismographen ableiten können, daß dies nicht nur gleichmäßig mit der Tiefe, sondern überdies noch stufenweise, ruckweise stattfindet, was abermals die Zusammensetzung aus Schalen von nach der Tiefe zunehmender Dichte beweist. Eine starke Geschwindigkeitszunahme fand Wiechert in etwa 1500 km Tiefe. Dies schien nun die Grenze zwischen Litho- und Barysphäre zu sein. Spätere noch eingehendere Analysen weiterer seismographischer Kurven haben den ersten Dichtigkeitssprung schon bei 1200 km Tiefe, zwei weniger ausgesprochene Unstetigkeitsflächen in 1700 und 2450 km und eine sehr ausgeprägte bei 2650 km Tiefe unter der Erdoberfläche feststellen lassen. Diese letztere begrenzt ohne Zweifel die innere Schwerekugel der Erde, deren spezifisches Gewicht 6—12 betragen muß. Sueß hat wegen der großen Wahrscheinlichkeit, daß dort neben anderen gediegenen Schwermetallen und Legierungen Nickel und Eisen vorherrschen, die Barysphäre mit „Nife“ bezeichnet. Schon lange hat man wegen der magnetischen Erscheinungen der Erde auf einen großen Eisenkern geschlossen.

Unter der dritten Schale „Sima“ sind somit zu unterscheiden:

IV. Übergangsschalen „Crofesima“, „Nifesima“, spezifisches Gewicht wahrscheinlich 4—6, bestehend aus Gesteinen vom Charakter „Sima“, gemischt mit Erzen und gediegenen schweren Metallen.

V. Barysphäre „Nife“. Von diesen Massen der tieferen Schalen geben uns einzelne vulkanische Eruptionen und die Meteoriten Kunde. So kennt man Basalte, welche beim Erstarren gediegenes Eisen und Nickeleisen zwischen den silikatreichen Mineralien ausscheiden, Melaphyre mit Kupfer, Norite mit Nickel, Ophiolite, besonders Dunit und Serpentin mit Chrom oder Chromeisen oder mit Platin. Die Meteoriten

Digitized by Google

sind niemals sedimentäre Gesteinsstücke. Alle haben vulkanischen Charakter. Zu den Glaslaven gehören die „Tektite“ (Moldavite, Australite). Es sind vulkanische Gläser vom Typus „Sal“ mit 1,7—2,9 spezifischem Gewicht. Weit häufiger sind die Steinmeteoriten, welche Gemengteile basischer Silikate vom Typus „Sima“ darstellen. Olivin, Enstatit, Augit, Granat, Anortit, Mineralien vom spezifischen Gewicht 3—3,5 sind vorherrschend. Der Kieselsäuregehalt sinkt unter 40%. Daneben führen viele Steinmeteoriten metallisches Eisen, Nickel, Gold, Platin, Iridium, Chrom, Yttrium und Verbindungen von Lithium und Arsen. Die große Mehrzahl der Meteoriten sind Eisenmeteoriten. Sie bestehen vorwiegend aus Eisen bis über 6% Nickel, haben spezifisches Gewicht von 7,5—7,8 und führen auch Chromit, Graphit, Diamant in Spuren beigemengt. Als Lithosiderite werden verhältnismäßig seltene Meteoriten bezeichnet, die Gemische von Nickeleisen mit Olivin und Bronzit, überhaupt von „Sima“ und „Nife“ darstellen, also ungefähr der irdischen Schale IV entsprechen dürften. Die Meteoriten sind gewissermaßen Bruchstücke eines Planeten von ähnlicher Zusammensetzung wie die Erde. Die Tektite sind die Glaslaven der Zone „Sal“, die Steinmeteoriten entsprechen den irdischen Gesteinen „Sima“, die Lithosiderite sind „Crofesima“ und „Nifesima“, und die Eisenmeteoriten entsprechen Bruchstücken einer Barysphäre.

In einer Tiefe von 2000 m unter der allgemeinen Oberfläche ist schon durch die Last der überliegenden Massen die Druckfestigkeit vieler Gesteine überwunden. In einer Tiefe von 4000 bis 6000 m sind fast alle, in 10000 m sicher alle Gesteine durch das daraufliegende Gewicht in einen plastischen Zustand versetzt, in welchem der Druck sich hydrostatisch wie in einer Flüssigkeit allseitig fortpflanzt, so daß langsam fließende Bewegung ohne Bruch auch beim festesten Gestein möglich wird. Diese Druckplastizität der Tiefe wird, wie die Experimente beweisen, durch erhöhte Temperatur befördert; sie ist aber nicht zu verwechseln mit Schmelzfluß. In welcher Tiefe die Gesteine in Schmelzfluß sich befinden (viele nehmen an in etwa 50 km Tiefe, andere in 100 km), wie weit der Druck den eigentlichen Schmelzfluß hemmt, ob schließlich überkritischer Dampfzustand im Erdinnern vorhanden ist, das sind offene Fragen. Jedenfalls beträgt die Temperatur im Erdinnern mehrere tausend Grad.“

Der Erde im ganzen wird eine Riegheit zugesprochen, die der des Stahles gleichkommt. Dabei scheinen Geologen und Geophysiker in neuerer Zeit immer mehr der Anschauung zuzuneigen, daß das Innere der Erde sich in einer Art plastischen Zustandes befindet, so daß gezeitenähnliche Bewegungen (Deformationen) des Erdkörpers möglich sind. In der Tat sehen wir auch, wie der Schwerpunkt der Erde im Laufe der Zeiten sich ständig verschiebt, die Polhöhe nicht fix ist.


Digitized by Google

„Die Erde wackelt also ein wenig", wie Heim sich ausdrückt. Dieses Pendeln des Erdkörpers ist in der Struktur der Erde, in der Plastizität begründet, ist eine Folge der Anziehung von Sonne und Mond, der Planeten und kann von geologischer Bedeutung sein.

Die Gestalt der Erde.

Die Erde ist ein kugelförmiger Körper, abgeplattet an den Polen. Die Idealgestalt der Erde pflegen wir als Rotationsellipsoid zu bezeichnen. Die Erde wird als Rotationsellipsoid mit 2 Axen aufgefaßt, dessen polare Abplattung mit $^1/_{293}$ angegeben wird.

G. Th. Schubert und Clarke sind dagegen zur Annahme eines dreiachsigen Rotationsellipsoides gekommen. Nach Schweydar ist auch Helmert dieser Anschauung beigetreten. Die größere Achse der Äquatorellipse fällt in den Meridian von Ferro und ist 230 m länger als die kleinere Achse.

Noch größere Deformationen des Erdkörpers nehmen französische und englische Forscher an, die dem Erdkörper tetraedrische Gestalt zuschreiben. Die Lehre von der tetraedrischen Erdgestalt ist von L. Green ausgegangen. Nach dieser Anschauung kommt der Erde tetraedrische Deformation zu, derart, daß den Kanten und Ecken die Kontinentalmassen, den Flächen die ozeanischen Becken entsprechen. Vor allem sollte damit die antipodiale Lage von Land und Meer, die merkwürdige Dreieckgestalt der Kontinentalmassen erklärt werden.

Die Lehre Greens hat durch Gregory, M. Bertrand, M. Levy, durch Lapparent und Th. Arldt eine Weiterbildung erfahren, aber alle diese Anschauungen haben bisher besonders unter den deutschen Geologen wenig Aufmerksamkeit gefunden. Es kann hier nicht weiter darauf eingegangen werden. Es zeigt aber die weitgehende Dissonanz der Anschauungen über die Gestalt der Erde, daß in der Tat unsere Kenntnisse noch sehr dürftige sind, sofern wir die wahre Gestalt der Erde mit allen ihren Deformationen in Betracht ziehen.

Listing definierte die wirkliche Gestalt der Erde mit allen ihren Abweichungen als Geoid. Aber die wirkliche Gestalt der Erde kennen wir nicht. Gegenwärtig versteht man unter Geoid eine ideelle Gestalt der Erde, die der wirklichen möglichst nahe kommen soll und durch die ruhende Meeresfläche und seine Fortsetzung in die kontinentalen Massen in möglichst kleinen Kanälen gegeben ist.

Es fehlt für eine genaue Feststellung der Gestalt der Erdoberfläche noch die sichere Basis. Wir können uns nur vorläufig auf die Meeresfläche beziehen, die weder geometrisch einfach noch stabil ist. Die Distanz eines Punktes vom Erdmittelpunkte genau zu bestimmen, ist nicht möglich, und Fixpunkte in genauem Sinne des Wortes gibt es auf der Erde nicht. Alles verändert sich.

Digitized by Google

A. Heim sagt: „Das Meeresniveau, das wir durch Nivellieren ins Innere der Kontinente verlängern können, ist erstens keine mathematische einfache Fläche und zweitens keine unveränderliche Fläche. Sie ist nicht einfach: Alle Schwereanomalien beeinflussen auch das Meeresniveau. Es weicht unregelmäßig vom mathematisch ausgeglichen gedachten Rotationsellipsoid ab. Es steigt gegen die Kontinente und Inseln (besonders Vulkaninseln) an, es ist in der Mitte der großen Becken relativ konkav. Die Abweichungen der Meeresoberfläche von der mathematisch einfachen Form gehen, soviel sich bis jetzt feststellen ließ, auf einige hundert Meter. Wir kennen ihre genaue Form nicht.

Zweitens ist das Meeresniveau keine unveränderliche Fläche. Die Verteilung der Massen wechselt beständig mit der Zeit durch Erosion und Alluvion, Eruptionen und Dislokationen und isostatische Bewegungen, die alle zusammen stets neue Meerflächenanomalien schaffen. Alle Veränderungen in der Gruppierung des Festen beeinflussen auch die Meeresgestalt, und zudem schaffen sie an einem Orte dem Meere mehr Raum, an anderen nehmen sie ihm welchen weg. Bei vielen relativen Bewegungen von Meer und Festland, wie wir sie am Ufer beobachten, können wir nicht wissen, der wievielte Teil Veränderungen im Meeresniveau sind, der wievielte Teil davon Bewegung im Festen ist.“

Mächtigkeit der Erdrinde.

Die Erdrinde repräsentiert die feste äußere Schale. Ihre Mächtigkeit ist nicht bekannt. Sie schwankt zwischen einigen 10 km und mehreren hundert. So gibt Lukatschewitsch 50—60 km Mächtigkeit der Erdrinde an, während Doelter wieder für eine Mächtigkeit von etwa 200 km eintritt. Es scheint, daß die Mächtigkeit der Erdrinde keine große ist, und wir werden vielleicht der Wahrheit näher kommen, wenn wir mit einer geringen Mächtigkeit rechnen. Dafür scheint ihr ganzes geotektonisches Verhalten zu sprechen.

Wenn wir das Material betrachten, das die Erdrinde aufbaut, so können wir von vornherein sagen, daß wir nirgends auf der Erde Teile der alten Erstarrungskruste beobachten können. Alle Gesteine der Erdrinde, die wir kennen, sind hervorgegangen einerseits aus der Zerstörung vorhandener Gesteine, sind also im weitesten Sinne Derivate der Erstarrungskruste, anderseits aber Abkömmlinge der Pyrosphäre.

Differenzierung.

Alles Material, das die Erdrinde aufbaut, ist im großen und ganzen nach der Schwere geordnet. An der Oberfläche liegen die leichtesten Gesteine, in der Tiefe die schwersten. An der Oberfläche der Erdrinde bewahren die Gesteine ihren primären Charakter. Mit

Digitized by Google

Zunahme der Tiefe weicht der primäre Charakter einem sekundären. In der Tiefe der Erdrinde werden alle Gesteine unter dem Einflusse der Temperatur und des Druckes einer allgemeinen Umwandlung unterworfen. Diese Metamorphose der Tiefe führt die Gesteine in einen plastischen Zustand über, und wir müssen annehmen, daß diese plastischen Unterteile der Erdrinde unmerklich in die zähflüssigen Oberschichten der Pyrosphäre übergehen, so daß ein allgemeiner Übergang von oben nach der Tiefe anzunehmen wäre. Wir treffen in der Tat, je tiefere Schichten der Erde zu Tage kommen, eine desto höhere Umwandlung in den Gesteinen an.

So mannigfaltig alle Gesteinsserien sein mögen, so tritt doch der Umstand deutlich in Erscheinung, daß die Eruptivgesteine eine grosse Rolle im Aufbau der Erdrinde spielen. Daneben kommen die kristallinen Schiefer, dann erst die Schicht der nicht metamorphen Sedimente. Die größte Bedeutung in der Zusammensetzung der Rinde haben die sauren granitischen Intrusionen. Das sind die großen Granitbatholithen, dann ferner die großen Gneismassen, die zum Teil auf granitische Intrusionen zurückzuführen sind. Man darf aber trotzdem nicht die Bedeutung dieser Granit- und Gneismassen für den Aufbau der Erdrinde überschätzen, wie Suess bemerkt, denn die tieferen Partien der Erdrinde sind zweifellos aus den schwereren basischen Gesteinen aufgebaut. Es sind von der Erdrinde aber zu sehr nur äußerliche Partien der Beobachtung zugänglich, als daß wir aus ihnen schon die Beschaffenheit der Rinde in ihrer tatsächlichen Struktur erkennen würden, umso mehr, da wir nicht wissen, wie die Gesetze der Oberfläche der Erde, etwa die geothermische Tiefenstufe, in die Tiefe zu fortgehen.

Einheit der Erdrinde.

Alle Gesteine, die wir kennen, liegen in einem festen Rahmen. Es sind die Eruptiv-, die Sedimentgesteine und die kristallinen Schiefer. Wir kennen nichts, das über diesen Rahmen hinausgeht. Aus diesen Materialien sind alle Kontinentalkörper aufgebaut. Überall, wo in den Ozeanen Inseln emporsteigen, finden wir die Glieder dieser Gesteinsserien. Wir haben gar keinen Grund, für die Böden der Ozeane eine andere Zusammensetzung anzunehmen. Bezeichnen wir mit Suess die Gesteine der Kontinentalmassen als Sal, dann ist auch der Boden der ozeanischen Senken als Sal zu bezeichnen. Die Erdrinde ist einheitlich aufgebaut. Auch Suess hat die Einheit im Bau der Erdrinde betont. Die geologische Erfahrung lehrt, daß frühere Ozeane, wie die Tethys, die während des Paläozoikum und Mesozoikum bestanden hat, ausgepreßt und zu Kettengebirgen geworden sind. Die Böden der Ozeane liegen heute mit ihren Sedimenten in wolken-

Digitized by Google

ragenden Gebirgen aufgetürmt, aber nirgends finden wir in diesen ehemaligen Bodengesteinen der Ozeane andere Gesteine, als die wir eben allgemein von den Kontinenten kennen. Wo immer Ozeane emporgewölbt wurden, finden wir die Gesteine des **Sal**. Nirgends in der Erdoberfläche haben wir Anhaltspunkte, daß die Erdrinde aus zweierlei Stoffen besteht, wie die Hypothese von Wegener annehmen möchte, aus einer Zone von Sima, einem schwereren plastischeren Materiale, das den Boden der Ozeane bilden soll und einer Zone von Sal, die die Kontinente aufbaut. Diese salischen Kontinentalschollen sollen im Simabade der Ozeanböden schwimmen, wie etwa Eisschollen im Wasser.

Die Annahme zweier verschiedener Elemente in der Erdrinde widerspricht aller geologischen Erfahrung.

Geomorphologische Gliederung.

Das Antlitz der Erde ist ozeanisch. ²/₃ der Erdoberfläche sind vom Meere bedeckt. Die Anordnung der Land- und Wassermassen ist antipodisch. Die Landhalbkugel liegt der Wasserhalbkugel gegenüber.

Erstere umfaßt die Kontinentalmassen der alten und neuen Welt, letztere den Pazifik und die Antarktis.

Diese Anordnung ist ein Charakterzug im Relief der Erde der Gegenwart und ist in dem Bau der Erde begründet. Diesem Bauplan scheint ein allgemein genetisches Prinzip zugrunde zu liegen. Eine Reihe von Forschern bringen diese Gestaltung der Erdoberfläche mit einer tetraedrischen Deformation des Erdkörpers in Zusammenhang.

Ein ganz auffallender Zug in dieser Hinsicht ist die Dreieckgestalt der Kontinente, die Zuspitzung der Kontinentalmassen nach Süden. Dieses Bild der geographischen Homologien sehen wir an Afrika, an Nord- und Südamerika, an Indien und im Parallelismus von Küstenlinien.

So sehr verschieden der Anblick der ozeanischen Becken gegenüber der Kontinentalschollen erscheinen mag, so einheitlich werden die großen allgemeinen geomorphologischen Züge dieser beiden Niveauflächen, wenn wir uns die ganze Erdoberfläche vor Augen halten und uns insbesondere noch die durch die Atmosphärilien geschaffenen Niveauunterschiede des Landes wegdenken.

Auf der Erdoberfläche lassen sich zwei Hauptniveaus erkennen. Das eine ist die mittlere Tiefe der Ozeane mit 3680 m, das andere ist die mittlere Höhe der Kontinentalmassen mit 800 m. Die zwei Niveauflächen beherrschen das Antlitz der Erde. Könnten wir die Erde aus größerer Entfernung betrachten und uns dabei noch die Wasserhülle entfernt denken, so treten uns diese zwei Niveaus recht deutlich in Erscheinung.


Digitized by

Die Meeresbecken würden als weite ebene (konvexe) Felder erscheinen, aus denen die Kontinentalschollen mit etwa 4000 m hohen steilen Begrenzungsmauern sich erheben. Die Kontinentalschollen selbst würden flache (konvexe) Schollen bilden, in denen sich die Ebenen ziemlich scharf besonders von den Kettengebirgszonen abheben würden. Diese erschienen als relativ schmale erdumspannende Zonen, und wir könnten sehen, wie an manchen Stellen diese Ketten an den Kontinentalrändern als Einheit abbrechen, wie sie aber als perlschnurartig angereihte Kettenhorste auf dem Boden der Ozeane sich fortsetzen, stellenweise fast 10 km hoch.

Außer diesen großen erdbeherrschenden Flächen finden wir relativ kleine Räume der Erdoberfläche über und unter dem Meeresniveau, die weit über diese beiden Hauptniveauflächen emporragen, oder in diese eingesenkt liegen.

Es sind dies die Erhebungen der jungen Kettengebirge, die im Himalaya auf 8800 m ansteigen, und die Gräben, die auf 9936 m absinken (Karolinengraben).

So erscheinen als die mittleren Höhendifferenzen 4 km, als die höchsten dagegen fast 20 km. Dies gibt uns eine Vorstellung bei der Beurteilung der Bewegungsphänomene der Erde.

Gliederung der Kontinentalschollen.

Alle Kotinentalschollen zeigen in sich eine bestimmte Gliederung in morphologischer und tektonischer Hinsicht. Es lassen sich folgende große Einheiten unterscheiden:

Die alten Tafeln.

Es sind dies z. B. die russische Tafel, der kanadische Schild, die sibirische Tafel. Allen ist gemeinsam: die weite ebene Erstreckung und die geringe Meereshöhe. Infolge der großen Räume, die diese Tafeln einnehmen, ist die mittlere Landhöhe so gering. Nur die Antarktis macht eine Ausnahme. In ihrem inneren Aufbau zeigen sich alle als die Kernteile der Kontinente, dann altes gefaltetes Grundgebirge des Archäikum. Auf der weiten vorkambrischen Einebnungsfläche der alten Massen liegen horizontal oder wenig gestört die postarchäischen Ablagerungen.

Ein alter Bau der Erde tritt in den alten Tafeln an die Oberfläche.

Die seit dem Kambrium die erstarrten Massen beherrschende tektonische Ruhe ist ein Fundamentalzug im Bau der Erde. Bau und Oberfläche der erstarrten Tafeln befinden sich seit dem Kambrium in einem gewissen Gleichgewichtszustand. Die Tafel ist ein Dauerland geworden.

Digitized by Google

Die jungen Kettengebirge.

Ein zweites, wichtiges morphologisches und tektonisches Element der Kontinentalenfelder sind die jungen Kettengebirge. Sie durchziehen als erdumspannende, einheitliche, schmale Bänder die Kontinente oder umsäumen sie. In diesen Ketten liegen die höchsten Erhebungen der Erde, die bis zu 9000 m ansteigen. Von den flachen Tafeln des Vorlandes steigen die Ketten in rascher Folge zu großen Höhen, erstarrten Gesteinswellen gleichend, die in mächtigen Wogen auf das Vorland drängen.

Im engeren Aufbau zeigen die jungen Kettengebirge morphologisch einen auffälligen Bau, der später genauer gezeichnet wird. Es scheint, daß dieser allgemeine Zug der Morphologie der Kettengebirge bisher nicht recht gewürdigt worden ist. Es ist deswegen von ganz besonderer Bedeutung, weil diesem großen morphologischen Bilde das genetische Moment unterlegt ist.

Eine Betrachtung der jungen Kettengebirgszonen der Erde ergibt nämlich die Tatsache, daß diese bei gleichbleibender mittlerer Breite von etwa 1000 km einen eigenartigen zweiseitigen symmetrischen Bau aufzeigen, derart, daß die Kettengebirgszone sich gegen das Vorland mit hohen (Rand-)Ketten abgrenzt und gegen das Innere zu meistens Plateauländer, ebene Felder, umschließt.

Diesen Bau zeigen in klarer Form die Kettengebirge von Nordamerika, von Europa und Asien. So scheiden sich: die Rocky Mts. auf der einen Seite, die Pazific Ranges auf der anderen Seite, dazwischen das Interior Plateau, von Alaska bis in die Vereinigten Staaten ziehend. In Europa umwallen die Alpen, Karpathen und Dinariden die ungarische Ebene. In Asien umschließen die iranischen und turkestanischen Ketten das Hochland von Iran. Ähnlich ist das Plateau von Tibet aufgebaut.

Dieser bisher so wenig gewürdigte und doch so auffällige Bauplan ist der typische morphologisch-tektonische Stil der orogenetischen Zone. Die Einheit in Bau und Form in der ganzen Zone kommt klar zum Ausdruck.

Dieser Baustil der Kettengebirgszone wird mannigfaltig deformiert. Wieder entstehen aber nur abgeänderte Formen des allgemeinen Bauplanes.

Die Schollengebirge.

Eine weitere Form in der Morphologie der Kontinentalschollen sind die sogenannten Schollengebirge. Sie scheiden sich ziemlich gut von den Ketten, wenngleich sie sich stellenweise der Kettenform nähern. Der innere Bau, der äußere Charakter, wird aber bald bei näherem Studium eine richtige Diagnose ermöglichen.

Digitized by Google

Die Schollengebirge sind mehr lokale Gebirgszüge, schollenartig gebaut und nehmen in der Oberflächenform der Kontinentalschollen eine vermittelnde Form zwischen den beiden Haupttypen, den Kettengebirgen und den alten Tafeln ein.

Dies entspricht auch der Genetik der Schollengebirge. Sie sind vorwiegend Bruchstücke aus alten paläozoischen Kettengebirgen. Diese wurden in spätpaläozoischer Zeit vollständig verebnet. In geologisch junger Zeit wurden Teile aus dem verebneten Gebirge herausgehoben. So sind die Schollengebirge entstanden.

Die Schollengebirge zeigen fast immer die alten Verebnungsflächen. Dies ist ein recht charakteristischer Zug.

Die vulkanischen Gebirge.

Das sind Gebirgsformen, die im Aufbau der Erde als selbständige, morphologische Einheit eine geringe Rolle spielen. Selbständige vulkanische Gebirge sind die Vulkanreihen Innerafrikas, die längs der großen Grabenreihe der afrikanischen Tafel aufgesetzt sind.

Die vulkanischen Erscheinungen finden sich der Hauptsache nach in den Kettengebirgen und bilden hier erdumspannende Vulkanreihen, wie etwa die des pazifischen Ozeans. Hier sitzen die Vulkane den Ketten auf und sind ein Teil des Gebirges.

Inseln und Halbinseln.

Zu den Kontinentalschollen gehören alle Inseln und Halbinseln, die auf dem Kontinentalsockel liegen.

Die Mittel- und Randmeere.

Den kontinentalen Feldern sind noch die Mittel- und Randmeere zuzuzählen, wie etwa das Mittelmeer, die Ostsee, ferner auch die Seenbecken, wie etwa der Aralsee. Sie liegen im kontinentalen Felde in mehr oder weniger tiefen Wannen, in Mulden, Becken oder in Gräben.

Atlantische und pazifische Küsten.

Die Abgrenzung der Kontinentalsockel gegen die ozeanischen Becken läßt auf der Erdrinde im allgemeinen zweierlei Grenztypen erkennen, die man den pazifischen und den atlantischen Küstentypus genannt hat.

Der atlantische, der indische Ozean wird von Küsten umschlossen, die frei sind von jungen Kettengebirgen, im Gegensatz zum pazifischen Ozean, der fast vollständig von Ketten umrahmt wird. Dieser Bauplan, den E. Suess betont hat, ist von solcher Bedeutung für die Erde, daß man nach der Verbreitung dieser Abgrenzung der Großformen der Erde von einer atlantischen und pazifischen Erdhälfte spricht.

Digitized by Google

Gräben und Vortiefen.

Die Grenze der kontinentalen Felder gegen die Ozeane wird gerade beim pazifischen Küstentypus durch eine Reihe von auffallenden Tiefenlinien auf dem Meeresboden scharf markiert. Es sind dies die Vortiefen, die Gräben, z. B. in Ostasien die japanischen Vortiefen oder die Tiefen an der Außenseite Australiens, die Tongatiefe usw. Diese Tiefen bilden zwischen den ozeanischen Becken und den kontinentalen Sockeln eine scharfe orographische und orogenetische Grenze. Die größte bisher bekannte Meerestiefe liegt im Karolinengraben in 9636 m Meerestiefe.

Die ozeanischen Senken.

Die Böden der ozeanischen Senken zeigen ebenfalls typische Bodenformen. Freilich sind unsere Kenntnisse vom Bau der Tiefen des Weltmeeres noch recht gering.

Unsere Aufgabe wird es sein, eine ähnliche morphologische und tektonische Gliederung der Ozeanböden zustande zn bringen, wie dies die Kontinentalschollen mit ihrem Bau ermöglichen.

Der Bau der Ozeanböden kann prinzipiell kein anderer sein als der der Kontinentalschollen. Wir sehen die Kontinente gegen den Ozean zu abbrechen. Tafeln, alte und junge Ketten enden an der Küste. Ihre Fortsetzung aber muß im Ozean liegen.

Die paläozoischen Ketten Enropas sinken an der atlantischen Küste in die Tiefe. Ihre Fortsetzung sind die Appalachen. Das Verbindungsstück liegt im nördlichen Atlantik in der Tiefe.

Der Atlas bricht in Marokko ab. Seine Fortsetzung sind die Kanarischen Inseln. So ließen sich viele Beispiele bringen.

Becken und Mulden.

Große Areale nehmen weite ebene Felder der Ozeanböden ein, wie etwa im Nordpazifik. Diese gleichen in der Einförmigkeit des Baues am meisten den alten Tafeln der Kontinentalmassen.

Von diesen großen konvexen Ozeanfeldern, den eigentlichen „Becken“, sondern sich kleinere Formen, die „Mulden“, ab, kleinere wannenförmige Meeresräume, wie sie besonders der Atlantik aufzeigt, so die westafrikanische, die brasilianische Mulde u. a.

Diese beiden Hauptformen machen den Boden der Hauptmeere, des Weltmeeres aus.

Die Gräben und Vortiefen sind bereits besprochen worden und bilden relativ kleine Ränme der ozeanischen Senken.

Die ozeanischen Inseln sind entweder einzelne aus den Tiefen des Weltmeeres aufsteigende einsame Eilande (Osterinsel), oder aber Inselreihen mit einem deutlich morphologischen Streichen. Sie sind

Digitized by Google

häufig reine Korallen-Inseln oder vulkanische Reihen. Sie steigen z. T aus 5000 m Tiefe zu 4000 m Höhe über den Meeresspiegel heraus und erreichen so die stattliche Höhe von 9 km. Sie sind also ebenso hoch wie die höchste Erhebung der Kettengebirge.

Eine weitere charakteristische morphologische Form sind die Höhenzüge, Rücken, die sich auf dem Boden der Ozeane verfolgen lassen. Der auffallendste dieser Höhenzüge ist der atlantische Rücken, der in fast ununterbrochenem Zuge sich durch den ganzen Atlantik Nord-Süd erstreckt. Im indischen Ozean erhebt sich der Chagos-Rücken. Solche submarine Höhenzüge bilden anderseits wieder den Sockel für Inselreihen und lassen dadurch ihre tektonische Bedeutung erkennen.

Tektonische Gliederung der Erdrinde.

Wir haben bereits im Vorhergehenden einige der Grundzüge der tektonischen Gliederung der Erde kennen gelernt und wollen hier nun das Bild in seinen allgemeinen Linien vervollständigen.

Wie schon betont worden ist, existiert in der Erdrinde ein fundamentaler Unterschied im Aufbaue. Das ist der Gegensatz zwischen den orogenetischen Zonen (Kettengebirgen) und den alten erstarrten Massen (alten Tafeln).

Dieser Unterschied kann nicht genug betont werden. Er wird vielfach in Theorien, die sich mit dem Baue der Erde beschäftigen, nicht hervorgehoben oder verkannt, und doch liegt diesem Unterschied ein geotektonisches Gesetz der Erde zugrunde.

Die alten erstarrten Massen sind Rindenteile der Erde von solcher Starrheit, daß sie von späteren gebirgsbildenden Prozessen im wesentlichen nicht mehr überwältigt worden sind. Dies ist das geologische Bild.

Anders die orogenetischen Zonen. Sie ziehen als schmale Bänder zwischen den erstarrten Massen durch, als bewegliche Zonen, Scharnieren vergleichbar, an denen sich die starren Massen gegeneinander verschieben.

Die geologische Erfahrung lehrt, daß sich seit der Existenz der alten erstarrten Massen der weitere Lebensprozeß der Erde hauptsächlich auf die orogenetischen Zonen beschränkt. In ihnen vollziehen sich die großen Umwälzungen der Erde, die Gebirgsbildungen.

Die orogenetischen Zonen sind labile Streifen der Erdrinde mit zeitweise hochgesteigertem tektonischem Paroxysmus, indem seit der Existenz der alten erstarrten Massen die Gebirgsbildung in diesen Zonen lokalisiert worden ist.

Die alten Massen sind tektonisch stabile, ruhige Zonen der Erde.

Digitized by Google

Nomenklatur.

Es wird notwendig sein, bei der Bedeutung dieser Erscheinungen eine Nomenklatur zu schaffen, die das genetische Moment wiedergibt, die also zu einem natürlichen System der großen tektonischen Einheiten in der Erde führt.

Die alten erstarrten Tafeln wollen wir hier kurzweg auch als „Kratogen" bezeichnen. Die orogenetischen Zonen als „Orogen". Dieser Begriff fällt in gewissem Sinne mit dem der Geosynklinale zusammen.

Dabei müssen wir festhalten, daß das Orogen die ausgepreßte Geosynklinale ist, also eine Zone, die viel schmäler ist als die ursprüngliche Geosynklinale. Wir werden später sehen, daß wir das Breitenverhältnis des Orogen zur Geosynklinale mit 1 : 2—3 setzen dürften, d. h. die Geosynklinale wird durch die großen Gebirgsbildungen im Orogen auf $1/2$—$1/3$ der ursprünglichen Breite zusammengepreßt.

Die aus einer geologischen Epoche stammenden genetischen Einheiten wollen wir mit dem Namen der Perioden in Verbindung mit der Silbe „iden" (*εἶδον* Gestalt) bezeichnen.

Unter „Archäiden" verstehen wir im allgemeinen alle im Archaikum entstandenen Bauten, unter Proteroiden die im Proterozoikum entstandenen Rindenteile, unter Paläoiden (Paläiden) alle im Paläozoikum gebildeten Gebirge, unter Mesoiden aber alle vom Mesozoikum bis zur Gegenwart entstandenen Bauformen der Erde, die von Geosynklinalen abstammen, also die jungen mesozoisch-tertiären Kettengebirge.

Manche der alten Bauformen haben ihren alten Bau fast unverändert beibehalten. Andere dagegen sind neubelebt worden. Diese neubelebten Teile bezeichnen wir mit „Neo" und sprechen von Neo-Archäiden (neïde Archäiden), neïden Proteroiden, neïden Paläoiden. Die Mesoiden sind alle neïd, d. h. jung entstanden. Die Mesoiden sind die Abkömmlinge der mesozoisch-tertiären Geosynklinalen und umfassen daher alle mesozoisch-tertiären Kettengebirge der Erde. Die Mesoiden sind charakterisiert durch die geosynklinale Fazies des Mesozoikum, durch die reiche Gliederung der Fazies in abyssale, bathyale, neritische Sedimente, durch die regionale Metamorphose gewisser mesozoischer Sedimente, durch den Deckenbau, und die typische Orogentektonik.

Palä(o)iden sind alle im Paläozoikum entstandenen Ketten. Hierher gehören also die Kaledoniden, die Sahariden, die Altaiden, die armorikanischen Ketten, die herzynischen Gebirge. Auch sie sind Abkömmlinge von paläozoischen Geosynklinalen. In manchen Fällen ist die geosynklinale Abstammung noch nicht so klar erkannt. In vielen Fällen aber ist der Charakterbau der Orogene, der Decken-

Digitized by Google

bau, bereits festgestellt, auch die geosynklinale Faziesdifferenzierung. Wiederbelebte Teile dieser alten paläozoischen Kettengebirge, wie etwa den Schwarzwald, den Harz, bezeichnen wir als Neo-paläiden und sagen z. B.: Der Harz ist ein Neopaläid, d. h. er ist ein Teil eines paläozoischen Kettengebirges, das später (im Mesozoikum) eingeebnet, vom Meere bedeckt, in der Folgezeit aber wieder gehoben wurde und mit einer alten Abtragungsfläche ein Schollengebirge bildet.

Ähnlich sind die Proteroiden Abkömmlinge von Orogenen, wie etwa die proterozoischen Formationen in Kanada. Auch sie sind z. T. neu belebt. Proteroide Teile kennen wir noch wenig auf der Erde. Erst die Auflösung der Archäiden wird hier Licht bringen.

So kommen wir zu großen orogenetischen Einheiten im Bau der Erde, die voneinander scharf getrennt sind, so die Mesoiden von den Paläiden, diese von den Proteroiden und besonders von den Archäiden. Mesoiden, Paläiden und Archäiden sind überall auf der Erde, soweit jetzt bekannt ist, scharf getrennt.

Anders steht es mit den einzelnen Gebirgsteilen innerhalb eines Orogen. In den Mesoiden scheinen sich verschiedenaltrige Teile voneinander abzutrennen. So sind die Pyrenäen in ihrem Bau älter als die Westalpen, diese z. T. vielleicht jünger als die Ostalpen und Karpathen, wo die vorgosauische Gebirgsbildung eine große Rolle spielt. Viel jünger wieder sind die Außenteile der Ketten im allgemeinen.

Unter den Paläiden scheint ähnliches vorzukommen. Die Sahariden sollen im Silur bereits erstarrt sein, die Kaledoniden nach Suess vor dem Devon, die mitteldeutschen Gebirge der Paläiden werden als karbonisch bezeichnet, desgleichen werden die Altaiden Asiens von Suess als karbonische Gebirgsglieder angesprochen, da sie die große Transgression des Oberkarbon aufweisen. Neuerdings hat Termier auch die Appalachen als Kaledoniden (als vordevonisch) angesprochen.

Wenngleich auch in manchen Fällen, besonders bei den alten Gebirgen, die Gebirgsbildung nicht scharf erfaßt werden kann, schon aus dem Grunde, weil das Gebirge nicht in einem Akte entstanden ist, sondern in einer Reihe von gebirgsbildenden Phasen aufgebaut wurde, so geht aus allem hervor, daß die Gebirgsbildung ein kontinuierlicher Prozess ist, besonders innerhalb einer Periode, wie es etwa das Paläozoikum oder das Kaenozoikum darstellt. Daß ein Gebirge vom Paläozoikum durch das Kaenozoikum bis zur Gegenwart entsteht, ist unwahrscheinlich und in der Natur auch nirgends zu sehen. Aber die alten Gebirge können wieder neubelebt werden, wenn sie in den Bereich der jungen orogenen Bewegungen kommen. Diese Neubelebungen sind aber anderer Natur als die Gebirgsbildungen des Orogen.

Digitized by Google

Oberflächentypen.

Diese können hier nur anhangsweise angeführt werden. Sie sind Gegenstand der Darstellungen in Lehrbüchern der Geologie und Morphologie. Wir vermögen hier nur herauszuheben:

1. Fastebenen, Peneplains.

In der gegenwärtigen Oberflächenform der Erde lassen sich in vielen Gebirgen, in Tafelländern Oberflächenformen von großer Ebenheit nachweisen. Manche von ihnen liegen in bedeutenden Höhen. Die Verebnungsflächen, die wir in diesen Zonen der Erde wahrnehmen, sind zweifellos durch weitgehende Abtragungsvorgänge im kontinentalen Felde in isostatischen Gleichgewichtszustand gekommen, wahrscheinlich in geringer Lage über dem Meere. Sie sind der Beweis einer langandauernden Bodenruhe dieser Teile der Erde. Peneplains finden wir in größerer Ausdehnung in allen alten Massen und Schollengebirgen, so in den deutschen Mittelgebirgen, im französischen Zentralplateau, in den alten Gebirgen Zentralasiens, in den Gebirgen und Ebenen Afrikas, in den Appalachen. In all den Fällen sind die Peneplains durch geringe Bewegungen zerstückelt worden. Teile sind aus der Peneplain herausgehoben und im Kampfe um den Raum in die Höhe emporgetragen worden. Ein Schollenland, Schollengebirge ist entstanden. Je jünger diese Bewegungen sind, desto weniger hat die Erosion die alte Form zerstören können. Der Erhaltungszustand der Peneplain, der Bruchmauer, längs der die Schollen emporgehoben worden sind, geben auch Anhaltspunkte für die Beurteilung des Alters der Verebnungsflächen. Fastebenen lassen sich auch in den jungen Kettengebirgen nachweisen. Hier ist aber ihre Reinheit nicht so ausgesprochen. Sie haben auch kein so hohes Alter.

2. Die glazialen Formen.

Wir wissen heute, daß jedem Klima bestimmte Erosionsformen eigen sind. Im glazialen Klima entstehen unter der Einwirkung von Eis, Schnee und Gletschern charakteristische Ablagerungen und Bodenformen, die der Landschaft typische Züge aufprägen.

Die glazialen Formen finden sich an Vereisung gebunden. Wir müssen strenge auseinanderhalten polare Vereisung, also Inlandeis, und alpine Vergletscherung. Darunter verstehen wir Vergletscherung der Gebirge infolge großer Höhenlage dieser Teile. So klar der Unterschied heute zu sehen ist, in der Vergangenheit ist der Unterschied verwischt. Es ist bisher dieser Frage wenig Aufmerksamkeit zugewendet worden, was im Paläozoikum z. B. polare Vereisung und was alpine Vergletscherung war.

Die glazialen Formen sind zu bekannt, als daß sie weiter zu beschreiben wären. Die verschiedenen Formen der Moränen, die Kaare

Digitized by Google

und Tröge, die hängenden Nebentäler, die übertieften Haupttäler sind die Charakterformen im glazialen Milieu.

3. Die ariden Formen.

Hierher gehören die Formen der Wüsten, wie wir sie in der Gegenwart in Asien, Afrika finden. J. Walther hat die geologische Bedeutung des ariden Milieus gelehrt. Wieder sind es typische Charakterbilder in Formen und Ablagerungen. Das tätige Agens ist der Wind. Das aride Milieu erzeugt die großen Sandwüsten und Dünenfelder, die eigenartigen Zeugenberglandschaften.

4. Die pluvialen Formen.

In der Herrschaft des Klimas mit Wasser und Wind, im gemäßigten Klima, entstehen wieder bestimmte Ablagerungen und Oberflächenformen, die als bekannt vorausgesetzt werden.

5. Die Litoralformen.

Im Bereich des Meeres, in Küstengebieten, entstehen durch die Abrasion weite Küstenebenen. Ehemalige Küstenstriche finden sich in der Gegenwart in größerer Höhe über dem Meeresspiegel, Charakterformen, die ebenfalls ganz typisch und nicht zu verkennen sind.

Dauert die Herrschaft eines Milieus, eines Klimas, längere Zeit an, so entstehen eben die Ablagerungen und die Bodenformen dieses Klimas. Das Klima wird geradezu in der Bodenform festgehalten.

Wird nun das Milieu geändert, so wird sich dieses sofort in den Ablagerungen, in der Bildung der Bodenformen, bemerkbar machen. Die Ablagerungen, die Bodenformen, sind der feinste Apparat für solche Veränderungen. Diese werden sofort aufgezeichnet.

Tritt eine Änderung der Erosion, der Ablagerung ein, so sagt man in dem Falle, ein neuer Zyklus beginnt.

Je länger nun ein solcher Zyklus andauert, desto schärfer werden eben die Charakterzüge des Milieu dem Boden eingegraben. Die Landschaft lebt gleichsam in dem Milieu, und in diesem Sinne spricht man wieder von einer jugendlichen Landschaft, einer alternden, einer greisenhaften, einer absterbenden, einer neubelebten Landschaft, und in gewissem Sinne mit vollem Rechte. Die Landschaft ist etwas Lebendes, fortwährend sich Veränderndes. Das Leben der Landschaft ist an feste Gesetze gebunden.

In diesem Sinne wird hier auch auf die Bedeutung der Bodenformen hingewiesen. Hier war es vor allen Davis, der bahnbrechend gewirkt hat. Den genetischen Zusammenhang der Bodenformen hat auch Passarge dargestellt.

Digitized by Google

II. Das Material.

Allgemeines.

Die durch die Zyklen bedingte Wiederkehr der Erscheinungen führt naturgemäß zur Wiederkehr ähnlicher und gleicher Gesteine und Schichtgruppen. So bilden sich bestimmte Gesteinsserien heraus, bestimmte Faziesgesellschaften, die im Haushalte der Natur eine wichtige Rolle spielen.

Auf den ersten Blick bilden die vielen Gesteine, die die Erdrinde aufbauen, eine unübersehbare Mannigfaltigkeit, allein eine tiefere Einsicht in dieses scheinbare Chaos läßt große Zusammenhänge erkennen. Hat man aber einmal diese allgemeinen Erscheinungen erfaßt, dann werden sie zu charakteristischen typischen Merkmalen.

Diese Gesteinsverbände einer oder mehrerer Formationen sind Vergesellschaftungen bestimmter Milieus. Ihre Zusammensetzung ist eine gesetzmäßige. Ihr Gesamtcharakter (Fazies) hat ganz bestimmte Züge. Die einzelnen Glieder der Schichtgruppe stehen untereinander in strenger Abhängigkeit.

Es war zuerst J. Walther, der auf die Fazies und ihre Gesetze besonders aufmerksam machte. Später hat vor allem die neue Schule der alpinen Tektonik den alten Begriff der Fazies, der von Gressly im Jura zum erstenmale verwendet worden ist, zu hoher Bedeutung gebracht. So hat sich der Begriff der Fazies, der seit Mojsisovics in der alpinen Literatur eine große Rolle spielt, allgemeine Geltung und Anerkennung verschafft.

Der Begriff der Fazies ist verschieden definiert und gebraucht worden. Wir gebrauchen hier das Wort „Fazies“ für Gesteinsverbände, die genetisch einheitlich sind.

Gliederung der Fazies.

Ihrer Entstehung nach können wir die Faziesserien in die Faziesbildungen der ozeanischen Becken und die der kontinentalen Schollen gliedern. Diese Gliederung ist bedingt durch die Großformen der Erdrinde, jener Formen, denen im Aufbau der Erde eine so fundamentale Bedeutung zukommt, indem sie eben Ablagerungsräume repräsentieren, die durch lange geologische Epochen hindurch persistieren und somit zur Bildung einheitlicher Ablagerungsfolgen führen.

So entstehen die marinen (ozeanischen, pelagischen) und die kontinentalen (epikontinentalen) Gesteinsfolgen.

Digitized by Google

Je nachdem die Sedimentationsfolgen der orogenetischen Zonen in die großen orogenetischen Prozesse verwickelt erscheinen oder mit ihnen entstanden sind, sind sie verschiedenen Graden der regionalen Metamorphose unterworfen.

Dies sind die allgemeinen Gesichtspunkte der Gliederung der Faziesfolgen, die nun im folgenden näher besprochen werden.

Die marinen, geosynklinalen, orogenen Faziesreihen.

Hierher gehören alle Faziestypen der ozeanischen Becken, der geosynklinalen oder der orogenetischen Zonen. Wir können nach dem bisherigen Stande der Erfahrungen die Ablagerungen der Ozeane gliedern in die abyssale, die bathyale und die neritische Fazies. Die erste ist im allgemeinen die Fazies der Tiefsee, die zweite die der Hochsee, die dritte die der Flachsee.

Wir werden metamorphe und nicht metamorphe (normale) Reihen zu trennen haben.

Die neritische Fazies.

Die neritische Serie ist charakterisiert durch beträchtliche Mächtigkeit, den häufigen Wechsel der Sedimente. Diskordanzen stellen sich gern zwischen den einzelnen Gesteinsfolgen ein. Kalke wechsellagern mit Sanden, Schiefern, Mergeln und Konglomeraten. Tiefere Ablagerungen wechseln mit Ablagerungen flacherer See. Lagunäre, kontinentale Gesteinsfolgen können sich in die marinen Schichten einschalten.

Dies alles hängt ursächlich mit der Genetik der neritischen Serie zusammen. Sie entsteht in der Flachsee, zwischen dem Litorale und der Hochsee, dann auch im Archipel. Es ist das Kampfgebiet zwischen Land und Meer. Die wechselvolle Geschichte dieses Gebietes spiegelt sich in der Gesteinsfolge deutlich wieder.

Dringt der Bereich des Kontinentalfeldes meerwärts vor, so überwiegt die Zufuhr kontinentalen Materials oder wird sogar allein herrschend. So entstehen Sande, Konglomerate. Diskordanzen, auch vulkanische Phänomene stellen sich im Zusammenhange mit diesen Verschiebungen und Bewegungen häufig ein.

Erweitert sich dagegen das Meer, so wird die Flachsee ruhiger, vielleicht auch tiefer. Die Elemente des offenen Meeres werden deutlicher. Kalke, Tone, feinere Sedimente finden sich dann.

Das ist der Typus der neritischen Gesteinsfolge. Er kann nach zwei Richtungen hin variiert werden.

In dem einen Falle entstehen mehr kalkige Schichtfolgen — aber immer Flachwasserbildungen, — im anderen Falle mehr sandig schiefrige Gesteinsfolgen. Aber immer wieder muß das zweite Element vorhanden sein.

Digitized by Google

Festzuhalten ist vor allem bei der Beurteilung dieser Verhältnisse der allgemeine, der Gesamtcharakter.

Der Fossilgehalt der neritischen Fazies ist naturgemäß mannigfaltig. Wir können Land- und Meeresleben erwarten, Pflanzen und Tiere, neben- und übereinander. Die Lebewelt des Meeres mit der reichen Zersplitterung, die dem Milieu entspringt. Korallen-, Brachiopoden-, Ammonitenfaunen von lokalem Gepräge.

Den Typus der neritischen Fazies finden wir in den Kalkalpen der Ostalpen, in den sogenannten Voralpen, vertreten, in der voralpinen Trias, auch die niederösterreichische Fazies genannt, jener Entwicklung der Trias, die durch das Auftreten des Lunzersandsteines charakterisiert wird, und zwar ist es mehr die kalkige Entwicklung der neritischen Fazies.

Die Schichtfolge ist folgende:

1. Werfener Schiefer, die Basis der Trias bildend. Graue, rote, grüne glimmerreiche Schiefer. Milieu: flache, sandige Küste. Die unteren Lagen gehen in Quarzite über. Umgekehrt stellen sich oben Kalklagen ein. Die Fauna ist eine artenarme aber individuenreiche Bivalven-Brachiopodenfauna. Ammoniten sind selten. So sind die Werfener Schichten Bildungen der Flachsee an Küsten im ariden Klima.
2. Guttensteiner Kalk (anisische Stufe). Schwarze, dünngeschichtete, bituminöse Kalke von etwa 300 m Mächtigkeit. Ablagerungen flacher Seen mit Einschwemmungen feineren, tonigen Materiales, Tieferlegung des Meeres. Brachiopoden-, Bivalven- und Ammonitenfaunen.
3. Reiflinger Kalk (ladinische Stufe). Hellere, reinere Kalke mit knolliger Oberfläche und mit tonigen Zwischenlagen (Partnachmergel). Faunen wie früher. Die positive Bewegung des Meeresspiegels erreicht ihr Maximum. Mächtigkeit ungefähr 300—400 m.
4. Lunzersandstein (karnische Stufe). Negative Phase bis zur Festlandsbildung. Die tiefsten Horizonte bilden schwarze, feine Schiefer, Reingrabener-, Halobien-, Aonschiefer genannt. Diese Schiefer zeigen den Beginn der negativen Phase. Diese führt zur vollständigen Verlandung und zur Bildnng des Lunzersandsteines. Mächtige Sandsteinmassen mit Kohlenbildungen stellen sich ein. Humides Klima ist wahrscheinlich. Mächtigkeit bis 500 m.
5. Opponitzer Kalke. Schwarze, bituminöse Kalke mit Austern. 50 m Mächtigkeit. Positive Phase. Flachwasserbildung.
6. Hauptdolomit (norische Stufe). 600 m mächtig. Die positive Phase verstärkt sich immer mehr und erreicht im

Digitized by Google

7. Dachstein- (Platten-) Kalk ihr Maximum, 300—400 m stark.
8. Rhät. Kössener Schichten, negative Phase, aber von kurzer Dauer. Der Einfluß des Strandes ist wieder stärker. Brachiopoden und Korallen spielen eine wichtige Rolle. 100 m.

Dieses Beispiel zeigt sehr klar den Charakter der neritischen Fazies. Wir verfolgen den Wechsel der bathymetrischen Verhältnisse durch lange Zeiten hindurch. Es ist ein ständiger Wechsel des Meeresspiegels, des Bereiches von Land und Meer. Dieses fortwährende Schwanken ist das charakteristische, das konstante einerseits, anderseits sehen wir, daß es sich um Flachseesedimente handelt, der Hauptsache nach um Kalke. Dieser Typus kann, wie gesagt, im einzelnen in mannigfaltigster Weise variieren, im ganzen muß aber der „neritische Charakter" festgehalten werden.

Ein anderes Beispiel der neritischen Fazies ist etwa die helvetische Entwicklung des Mesozoikum, wie sie etwa in den Glarneralpen (Schweiz) zutage tritt. Hier kommt der schiefrige Charakter stärker hervor. Wieder handelt es sich um eine Flachwasserbildung am Rande der alpinen Geosynklinale. Die Schichtfolge beginnt mit der Trias und führt mit gleichbleibendem Hauptcharakter bis in das Eozän, eine Gesteinsserie aufbauend, die aus Kalken, Sanden, Schiefern, Dolomiten, Brekzien aufgebaut ist.

Diese helvetische Serie ist deswegen von besonderem Interesse, weil sie mit der Flyschfazies verbunden ist und zugleich zur metamorphen neritischen Fazies der sogenannten Bündnerschiefer, Schistes lustrés, überleitet.

Die Flyschfazies könnte als der Typus der neritischen Schiefer-Sandsteinfazies bezeichnet werden. Sie bilden mächtige, einförmige, meist am Außenrande der Kettengebirge weit zu verfolgende, tektonisch-stratigraphische und fazielle Einheiten. Sie hängen mit der Gebirgsbildung eng zusammen, finden sich in der typischen Entwicklung nur im Orogen und sind eine leitende Zone darin. Häufig sind die Schiefer, Konglomerate, Sandstein, Brekzien, mit „grünen Gesteinen" vergesellschaftet, so mit Serpentin, Gabbro, Diabas. An die Flyschfazies knüpft sich das Phänomen der sogenannten exotischen Blöcke, dann der Klippen. Es sind in ihrer Größe wechselnde Gesteinsmassen von Kalken und kristallinen Körpern, in denen Granite eine hervorragende Rolle spielen. Diese exotischen Blöcke sind z. T. sedimentiert, stammen von Decken ab und wurden beim Vorschub der Decken in die vorliegenden Sedimentmassen des Meeresbodens eingebettet, z. T. sind es echte, wurzellose Reste, die von Deckschollen abstammen, also genetisch mit den echten Klippen ident.

In den jungen Kettengebirgen findet sich die Flyschzone gern am Außenrande. Sie begleitet die Alpen, Karpathen am Außensaume in

Digitized by Google

ununterbrochenem Zuge. Sie ist aus dem Detritus der alpinen Decken hervorgegangen, also gleich alt oder jünger als der Deckenbau dieser Gebirge. Im allgemeinen kommt dem Flysch oberkretazisch-alttertiäres Alter zu. Im Flysch finden sich auch Elemente tieferer See, ja sogar vielleicht bathyale Gesteine. Dies hängt mit der Entstehung des Flysches in der Vortiefe vor den Kettengebirgen zusammen.

Etwas Ähnliches ist die Molasseentwicklung[1]). Sie ist ebenfalls an das Orogen, an die Gebirgsbildung gebunden. Die Molasse der Alpen ist das typische Beispiel dafür. Sie ist der Detritus des immer höher steigenden Gebirges. Die Molasse ist alt- bis jungtertiär. Sie besteht aus Sanden, Schiefern, Konglomeraten mit Salz- und Kohlebildung. Die Verlandung der Geosynklinale, der Vortiefe geht immer weiter vor sich. Genau so wie der Flysch ist die Molasse eine Bildung am Außensaume der Geosynklinalen. Es sind aber nicht immer neue Flachseesedimente. So wie im Flysch finden sich auch in der Molasse Absätze aus tiefem Meere. So wurden in einem roten Tone der bayrischen Molasse echte rote Tiefseetone erkannt.

Diese Typen repräsentieren die nicht metamorphe (normale) Fazies des neritischen Ablagerungsgebietes. Es findet sich aber auch die neritische Fazies in den jungen Kettengebirgen in metamorpher Entwicklung. So zeigt die helvetische Entwicklung z. B. in dem berühmten Profil der Glarner Überschiebung bereits eine gewisse Metamhorpose, hervorgerufen durch die Gebirgsbildung.

Weitaus höher ist dagegen die Metamorphose in der Schichtgruppe, die mit der helvetischen in gewissem Grade verbunden ist. Das sind die sogenannten Bündner Schiefer, die Schistes lustrés der Westalpen. Man hat diese Fazies[2]), die für eine bestimmte Deckenserie der Alpen (penninische Decken) charakteristisch ist, früher auch lepontinische genannt (Steinmann). In den Ostalpen gehört hierher die Schieferhülle (Kalkphyllitgruppe) der Hohen Tauern.

Diese Schichtgruppe ist trotz des einförmigen Charakters außerordentlich typisch. Es ist eine Serie von Gesteinen, die dem Mesozoikum angehören. Es sind meist einförmige Phyllitmassen von z. T. großer sekundärer Mächtigkeit, Kalk- und Marmorlager sind eingeschaltet. Grüne Gesteine finden sich in mächtigen Zügen (Grünschiefer) oder in kleineren Stöcken (Serpentin). Den Untergrund der ganzen Schichtserie bilden meist alte Granitgneise (Zentralgneise), ehemalige variszische Intrusionen. Die Tektonik dieser Schichtgruppen ist recht kompliziert, unter hohem Druck, unter hoher Belastung erzwungen. Daher

[1]) Die alpinen (Schweizer) Geologen gebrauchen das Wort „Molasse“ in diesem neuen Sinne.

[2]) In neuerer Zeit von Staub als bathyal angesprochen.

Digitized by Google

ist die Metamorphose bedeutend, besonders in den tieferen Partien. Es ist regionale Metamorphose, die durch die Versenkung dieser Schichten in große Rindentiefe erzeugt worden ist.

Dieser Typus der mesozoischen Glanzschiefer findet sich sicherlich auch in anderen Teilen der Kettengebirge. Er ist neuerdings durch die Untersuchungen russischer Forscher im Kaukasus gelegentlich der Vorarbeiten für die Durchtunnelung dieses Gebirges nahe der Grusinischen Heerstraße erkannt worden. Man hat die ehemals für paläozoisch angesehene Schieferhülle der Granit- (Gneis) kerne des zentralen Kaukasus als mesozoisch erkannt. Es sind Belemniten gefunden worden, und es kann kein Zweifel bestehen, daß der Großteil dieser Schiefer dem Mesozoikum angehört, mögen auch andere Reste dem Paläozoikum zuzurechnen sein.

Die Glanzschieferfazies ist die metamorphe Fazies wahrscheinlich der neritischen Entwicklung des Mesozoikum. Sie findet sich nur im mesoiden Orogen. Sie bildet hier einen außerordentlich wichtigen Leithorizont von regionaler Bedeutung. Sie nähert sich im allgemeinen mehr der schiefrigen Reihe der neritischen Fazies, vielleicht im Übergange zum Bathyal.

In den alten Kettengebirgen des Paläozoikum findet sich ebenfalls die neritische Entwicklung in mehreren Faziesdifferenzierungen, aber immer in mehr oder weniger metamorpher Ausbildung.

Wieder sind es Kalke und Schieferbildungen einförmigen Charakters. Grüne Gesteine, Diabase, Serpentine, gabbroide Gesteine treten auf. Daneben aber auch jüngere Granite und ihre Effusiva. Es entsteht ein ganz typisches Bild. Hat man dieses einmal erfaßt, dann kehrt es in ermüdender Einförmigkeit bei der Beschreibung paläozoischer Kettengebirge wieder. Es kommen immer wieder dieselben Gesteine. Häufig stellen sich dann noch Radiolarite (Kieselschiefer) ein. Die Radiolarite sind z. T. echte Tiefseegesteine.

Diese paläozoische Schieferfazies ist dem engeren Alter nach mangels an Fossilien schwer zu fassen. Es ist aber wahrscheinlich, daß das ganze Paläozoikum in dieser Schieferserie enthalten ist, meist lassen sich Stufen des Silur, des Devon oder des Karbon nachweisen.

Hierher gehört z. B. die rheinische Schiefergebirgsfazies, dann die sogenannte moravische Fazies von F. E. Suess. Diese letztere repräsentiert, wie die erstere, das Paläozoikum in metamorpher neritischer Fazies. Diese beiden Faziestypen stehen im Gegensatze zur boehmischen und zur karnischen Entwicklung in den Alpen, welche die (metamorphe) bathyale Entwicklung, wie wir später hören werden, repräsentiert.

Digitized by Google

Diese metamorphe neritische Kalk-Schieferfazies des Paläozoikum wird sich bei genauerer Analyse wahrscheinlich auch in anderen alten Kettengebirgen auffinden lassen, so im Ural, in den Gebirgen Innerasiens, im Tianschan. In diesen Gebirgen finden sich mächtige Ablagerungen dieses Charakters in weiter Verbreitung, häufig in Gesellschaft von Radiolariten (Ural). Auch in den alten Gebirgen Englands, Frankreichs finden sich diese Ablagerungsreihen. Nur ist es bisher nicht möglich gewesen, sie von den bathyalen Elementen zu scheiden.

In den alten Gebirgen kommen in Verbindung mit diesen Ablagerungen auch Sedimente jüngeren Datums vor, die Analogiebildungen zum Flysch oder zur Molasse sind. M. Bértrand hat zuerst die Vermutung ausgesprochen, daß gewisse Schieferbildungen der alten Kettengebirge metamorphe Flyschbildungen seien.

Die bathyale Fazies.

Sie ist in ihrem Gesamtcharakter wohl charakterisiert. Es ist die Fazies der Hochsee, der Landferne, des tiefen, ruhigen Meeres. Heute wird diese Fazies im allgemeinen durch den Globigerinen-Schlamm repräsentiert. Die bathyale Fazies zeigt die Konstanz der Entstehung, indem sich große, mächtige Kalkablagerungen bilden. Es können auch tonig-schiefrige Bildungen zustande kommen, analog etwa dem blauen Ton. Solche Bildungen liegen in der sogenannten faciès vaseux, im Neokom der Westalpen vor. Aber diese Bildungen treten doch zurück gegenüber mächtigen einheitlichen Kalkmassen, die 1000—1500 m Mächtigkeit erreichen und häufig reich an Cephalopodenfaunen sind. Die Kalke sind weiß, rot, häufig marmorartig, einförmig. In einigen Fällen hat man diese Kalkbildungen als wahrscheinliche Abkömmlinge vom Globigerinen-Kalkschlamm erkannt, so im Salzkammergut in den Ostalpen (Hallstätter Kalk).

Hierher möchte ich vor allem jene Fazies der Kalkalpen der Ostalpen stellen, die die Kalkhochalpen, also Rax, Schneeberg, Dachstein, Tennengebirge aufbaut. Diese Fazies der Kalkhochalpen ist auch als die hochostalpine bezeichnet worden.

Die hochostalpine Fazies der Trias setzt sich in folgender Weise zusammen. Die stratigraphische Gliederung ist einfach.

1. Werfener Schiefer, z. T. etwas mehr ozeanischen Charakter aufzeigend als die gleiche Stufe in der neritischen Trias der Voralpen, einige 100 m mächtig, zuunterst Buntsandstein.
2. Ramsaudolomit, Riffbildung von etwa 300—400 m Mächtigkeit.
3. Cardita Schichten, Flachwasserbildung entsprechend der Lunzersandsteinregression, wenige Meter mächtig.

Digitized by Google

4. Dachsteinkalk, bis 1000 m, der Hauptsache nach aus Globigerinenschlamm hervorgegangen, im rhätischen Anteil wieder mehr eine Flachseebildung.

Die mächtige Kalk-Dolomitenentwicklung steht in ihrer Einheit scharf der neritischen Fazies der Kalkvoralpen gegenüber. Wenn auch in den unteren Partien der bathyale Charakter noch nicht entwickelt ist und erst in der oberen Trias in seiner Reinheit zum Durchbruch gelangt, so ist das Gesamtbild der Fazies doch wieder ein spezifisches.

Hierher ist wohl auch die sogenannte Hallstätter Entwicklung der Trias zu stellen. Sie ist reich an Cephalopoden. Die Kalke wurden von Heinrich als Bildungen erklärt, die dem Globigerinenkalkschlamm der heutigen Ozane am nächsten stehen.

Die bathyale Entwicklung mit ihrem Reichtum an Kalk findet sich zweifellos auch in anderen Teilen der jungen Kettengebirge, so z. B. im Sunda Archipel, wo von Welter die Hallstätter Entwicklung der Trias in genau derselben paläontologischen und petrographischen Ausbildung entdeckt worden ist.

Hier ist vielleicht auch zu berücksichtigen, daß die kalkreiche bathyale Fazies möglicherweise auch mit klimatischen Verhältnissen zusammenhängt. Diese Triasentwicklungen sind Ablagerungen der Tethys, und diese ist von einer Reihe von Forschern als ein tropisches Meer angesprochen worden. Es ist möglich, daß damit in gewissem Grade diese Anreicherung von Kalksedimenten verbunden ist.

In den alten Kettengebirgen findet sich ebenfalls die kalkreiche Fazies des Paläozoikum. Es ist bereits auf die böhmische und die karnische Entwicklung des Paläozoikum hingewiesen worden. In beiden Fällen handelt es sich um mächtige Kalkablagerungen, reich an Faunen. Wir wollen hier die stratigraphische Gliederung der kalkreichen Serie des Paläozoikum aus der karnischen Hauptkette der Alpen nach Vinassa de Regny und Gortani wiedergeben. Auf der beistehenden Tabelle (Seite 33) findet sich auch die schiefrig-sandige Entwicklung, die offenbar die neritische Fazies repräsentiert. Beide Faziesreihen sind scharf getrennt.

Die bathyale Entwicklung des Paläozoikum findet sich nicht so häufig, weil sie wahrscheinlich zum großen Teil erodiert worden ist, immerhin finden sich Anhaltspunkte genug, daß auch in den Paläiden Frankreichs, Deutschlands, dann besonders im Ural, in Zentralasien bathyale Serien vorhanden sind. Besonders im Ural ist dies sehr wahrscheinlich. Dort findet sich am westlichen Außenrande eine mächtige einförmige Gesteinsreihe, zum Teil metamorpher Kalkablagerung, die mit dem Silur (?) beginnt bis in das Perm reicht. Diese Kalkablagerungen bilden eine einheitliche Kalkzone, vergleichbar den Kalkalpen der Ostalpen.

Digitized by Google

Tafel der paläozoischen Formationen der karnischen Hauptkette.

	Faciès calcaire			Faciès schisteux et arénacé			R. éruptives	R. métamorphiques
Néopermien	Calcaires bitumineux et schisteux à Bellerophon et Avicula striato-costata. Dolomie caverneuse, gypseuse etc. calcaires bitumineux etc.			—			—	—
Éopermien	—	Brèche de Uggowitz		Grès de Valgardena conglomérat de Valgardena			Porphyres, Porphyrites. Diabases etc.	
Néocarbonifère	Calcaire noir à Coraux, Brachiopodes et Mollusques	Calcaires à Fusulina et Schwagerina Calcaires à Fusulina		Schistes et grès avec fossiles animanx	végétales	Conglomérat quartzenx. Brèche silicieuse	—	
Lacnne, Plissement, discordance et transgression								
Néodévonien	Calcaires à Clymenia / Calcaires à Rhynchonella cnboides	Calcaires réticnlés, roses etc. à faciès pseudo-silurique	Calcaires silicieux	Schistes argileux / —				Calcaires micacées Bänderkalk / Calcaires cristallins
Mésodévonien	Calcaires gris clair récifaux	Calcaires à Stringocephalus Calcaires à Cyathophyllnm	Calcaires massifs gris foncés	—				
Éodévonien		Calcaires à Karpinskya Calcaires à Gastéropodes		—				
Néosilnrien	Calcaires réticulés à Tornoceras, Orthoceras alticola, O. Richteri etc.	Calcaires à Rhynch. Megaera. Calcaire noirâtre à Cardiola. Rh. Sappho	Calcaires gris clairs à Coraux silicifiés	Schistes à Monograptus colonus / Schistes à Rastrites	Grès à Pseudocalamites	Brèches silicieuses, noirâtres		
	Calcaires réticulés gris foncé à Orthoceras							
Mésosilurien	Calcaires à Orthoceras	Calcaires noirs silicieux		Schistes argileux et calcaires à Monticuliporides et Orthis Actoniae		Schistes et grès		
				Schistes et grès, micaschistes et phyllades				

G. Vinassa de Regny et M. Gortany. Le paléozoïque des Alpes Carniques. Compt. Rend. XI. Congr. géol. int. Stockholm 1910. II. fasc. p. 1005.

Digitized by Google

Die abyssale Fazies.

Der Typus der abyssalen Gesteine ist der Radiolarit. Ablagerungen, in denen Radiolarite in Verbindung mit Schiefermassen vorkommen, finden sich in allen Formationen, oft mit grünen Gesteinen vergesellschaftet. Steinmann hat zuerst auf diese Verbindung aufmerksam gemacht. Die Radiolarite sind zweifellos Tiefseegesteine. Dafür spricht die Abwesenheit von Kalk, von organischen Resten, die charakteristischen Manganüberzüge. In manchen Fällen sind die Einwände, die gegen die Tiefseenatur der Radiolarite eingewendet worden sind, zweifellos berechtigt. In den meisten Fällen trifft die Erklärung im Sinne als Abyssit zu, so für die Radiolarite des Oberjura der Alpen (Wähner). Radiolarite als echte Abyssite finden sich von den ältesten Formationen bis in die jüngste Zeit.

Radiolarite als Abyssite finden sich mit Schiefern und grünen Gesteinen in der San Franciscan-Serie vom Eliasgebirge bis nach San Francisco. In den Alpen sind sie besonders im Tithon häufig. Im Ural finden sich mächtige Zonen im tieferen Paläozoikum, von Tschernischew als silurisch (?) bestimmt. Die gleichen Gesteine finden sich auf Sachalin. Radiolarite finden sich in den deutschen Mittelgebirgen, ebenso wie in Australien.

Wenngleich es bisher nicht gelungen ist, den sicheren Nachweis zu bringen, daß nicht nur einzelne Horizonte, sonderne ganze Formationen in abyssaler Fazies vorkommen, so dürfte es vielleicht am Platze sein, auf eine Formationsreihe des Mesozoikum hinzuweisen, die als abyssal angesprochen werden kann. Es ist dies die sogenannte Schiefer-Hornsteinserie Bosniens. Sie wurde früher als bosnische Flyschzone bezeichnet und liegt auf der Innenseite der Dinariden. Sie beginnt bei Karlstadt in Kroatien, zieht im geraden südöstlichen Verlaufe nach Serbien, tritt dann an der Drina weit gegen Süden vor. In Albanien, im Gebiete der Merdita hat sie Nopcsa näher gliedern können. Es ist eine Schichtfolge des Mesozoikum, überaus reich an Hornsteinen, roten und grünen Radiolarit. Dann finden sich Schiefer, Kalke, auch Sandsteine, Konglomerate, letztere offenbar jüngeren Datums und nicht mehr in den abyssalen Zyklus gehörend. Besonders reich ist die Schichtgruppe an Eruptivgesteinen. Saure und basische finden sich. Die „grünen Gesteine“ überwiegen.

Diese Serie zieht durch die Balkanhalbinsel auf die agäische Seite bis an den Golf von Volo. Sie geht wahrscheinlich auf der kleinasiatischen Seite fort. Nach Kober findet sie sich noch im Taurus, und zwar auf der Innenseite, im Kisil Tepe, wo Schaffer diese Gesteinsgesellschaft aufgefunden hat.

Digitized by Google

Wir wollen im folgenden die Statigraphie der Schiefer-Hornsteinfazies des Mesozoikum in der Merdita kurz anführen.

Trias. Werfener Schiefer und Jaspisschichten. Hornsteinschiefer, Plattenkalke mit und ohne Hornstein. Massige rote Kalke. Die anisische Stufe hat Tonschiefer, Jaspisschiefer, Mergelkalke, graue, grüne Sandsteine, Porphyrgesteine und Tuffite, massige an der Basis hornsteinführende Gyroporellendolomite. Die weitere Schichtfolge ist noch unbekannt.

Jura. Serpentin, Gabbro, Diorit und Abyssit.

Die Radiolarite der Alpen finden sich häufig in Gesellschaft von Brekzien. Diese klastischen Elemente sind als Beweis für die Entstehung der Radiolarite in flachem Wasser angesprochen worden. In neuerer Zeit denkt man sich diese Brekzien in Verbindung mit den Abyssiten infolge Bewegungen (Gebirgsbildung?) in der Tiefe entstanden (Kober). Tiefseesande von ähnlicher Genetik vielleicht hat Philippi im Süden des atlantischen Ozeans aufgefunden.

Die hier angeführten Gesteinsreihen repräsentieren zum Teil nur einzelne Perioden, z. B. nur die Trias, vielleicht auch ganze Formationsreihen. Dies beweist, daß die bathymetrischen Verhältnisse durch lange Zeit hindurch beständig geblieben sind. Nur so konnten solche gleichbleibende Gesteinsserien entstehen. Manche dieser Serien lassen ein stetes Tieferwerden der Geosynklinale erkennen. Dies ist z. B. ganz besonders in den Ostalpen der Fall, wo im Jura im allgemeinen Sedimente tieferer See gebildet werden als in der Trias. Die Geosynklinale wird tiefer. Das Neritische erhält bathyale Züge, das Bathyal wird mehr abyssal.

Es sind Vorgänge regionalen Charakters. Mögen die Zuweisungen der vorhergehenden Faziesreihen in bestimmte bathymetrische Verhältnisse vielleicht in Zukunft geändert werden, z. B. die Schistes lustrés-Fazies wirklich als bathyal erkannt werden, so ändern diese Feststellungen nichts in dem allgemeinen Bilde, daß wir abyssale, bathyale und neritische Formationen zu unterscheiden haben. Für die Gegenwart bedeutet diese Erkenntnis einen großen Fortschritt; die Aufgabe der Zukunft muß es sein, womöglich Mittel zu finden, die Entstehungstiefe der Formationsfolgen zu bestimmen.

Sippen der Eruptivgesteine.

Wir wollen hier auch auf eine Reihe von Eruptivgesteinen hinweisen, die schon öfter erwähnt worden sind. Es sind dies die sogenannten „grünen Gesteine". Sie finden sich nach Suess immer nur im Kettengebirge, nie im Vorlande. Es ist eine Reihe sehr basischer Gesteine, intrusiver und effusiver Entstehung: Serpentine, Gabbro, Peridodite, dann Grünschiefer, Diabase. Sie sind immer einer gewissen Metamorphose unterworfen, die umso stärker ist, je älter die Gesteine

Digitized by Google

sind und je mehr von den gebirgsbildenden Prozessen in Mitleidenschaft gezogen worden sind. In den Mesoiden kommt den grünen Gesteinen gewöhnlich kretazisches-alttertiäres Alter zu. In den Paläoiden ist die nähere zeitliche Abgrenzung nicht leicht durchzuführen. Wahrscheinlich handelt es sich um Eruptiva, die mit der Gebirgsbildung im engsten Zusammenhange stehen. Nach Suess finden sich die grünen Gesteine gern auf Überschiebungslinien. Sie können als eruptive Überschiebungsapophysen gedeutet werden. Dieser Charakter tritt z. B. an den Amphiboliten und gabbroiden Massen im skandinavischen Hochgebirge recht deutlich zutage, wo sie meist an der Basis der Überschiebungslinie liegen.

Diese Gesteine führen zu einer ganzen Sippe gleichartiger Gesteine, der sogenannten pazifischen Sippe. Prior und Becke haben gleichzeitig auf die Erscheinung aufmerksam gemacht, daß, wie das Rosenbusch schon in gewissem Sinne erkannt hat, sich alle Eruptiva in zwei große Gruppen teilen lassen, die sich deutlich zeitlich und räumlich scheiden. Diese Gesteinssippen wurden atlantische und pazifische genannt. Die ersteren sind chemisch charakterisiert durch ein Überwiegen an Alkalien über Al_2O_3 (in Molekularprozenten), mineralogisch durch die Feldspatvertreter Nephelin, Leuzit, Sodalith, Ägirin.

Die pazifischen Gesteine haben keine Leitmineralien, außer etwa daß rhombischer Pyroxen nie in atlantischen vorkommt.

Die pazifischen Gesteine finden sich nur in den orogenetischen Zonen. Die atlantischen meist im kratogenen Felde. Die pazifischen Gesteine stehen mit der Bildung der orogenetischen Zonen im ursächlichsten Zusammenhange.

Grundgebirgs-Fazies.

Im Anschluß daran wollen wir noch die echte alte Grundgebirgsfazies des Archäikum (Proterozoikum) besprechen.

Die kristallinen Schiefer kann man nach Becke, Grubenmann der Hauptsache nach in zwei Hauptgruppen scheiden, in die kristallinen Schiefer der oberen Tiefenstufe, und die Schiefer der tieferen Stufe. Erstere stehen im Kraftfelde des Stress, letztere unter hydrostatischem Druck. Druck, Wärme, Tiefe ist verschieden in beiden Zonen, die durch viele Übergänge miteinander verbunden sind. So wird das mineralogische Bild bei annähernd gleichem chemischen Bilde ein anderes. Verschiedene hohe kristalline Schiefer entstehen durch einen bestimmten Mineralgehalt ausgezeichnet.

Die kristallinen Schiefer der geringeren Tiefenstufe bilden im allgemeinen jene kristallinen Schiefermassen, die wir zum großen Teil als neritische, mesozoische bezw. paläozoische Formationen erkannt haben. Dazu kommen noch proterozoische Teile.

Digitized by Google

Von allen diesen aber trennt sich im großen und ganzen scharf die sogenannte echte alte Grundgebirgsfazies, wie sie etwa in den tieferen Teilen Kanadas, Schwedens, Finnlands oder Böhmens in den vorkambrischen Teilen sich findet. Es sind hochgradig metamorphe Serien mit eigenen charakteristischen Strukturbildern und bestimmtem mineralogischem Bau. Im ganzen ist es aber eine gut charakterisierte Gesteinsfolge, die häufig nach oben in die Schiefer der niederen Tiefenstufe übergehen.

Diese alte Grundgebirgsfazies hängt zweifellos mit orogenen Vorgängen zusammen. Es sind Rindenteile, die in großer Tiefe versenkt worden sind, bedeutende Bewegungen erlitten haben, wobei sie von großen Intrusionen durchdrungen und durchtränkt worden sind. So ist ein allgemeines Plastischwerden, Fließen zustande gekommen, ein gegenseitiges Durchdringen von sedimentärem und eruptivem Material, wie das für die alten Bildungen so charakteristisch ist. (Ptygmatische Faltung von Sederholm.)

Die epikontinentalen Serien.

Hier unterscheiden wir im großen und ganzen wohl nur zwei Haupttypen von Ablagerungen: Die eigentlichen epikontinentalen Bildungen und die echten kontinentalen Ablagerungen.

Unter epikontinentalen Bildungen verstehen wir Ablagerungen epikontinentaler See, also der Transgressionsmeere. Es sind im allgemeinen recht lückenhafte Flachseebildungen mit lagunärem Charakter, unterbrochen von kontinentalen Sedimenten.

Hierher können wir die Ablagerungen der russischen Tafel rechnen, die aus Kalken, Schiefern, Sanden besteht, teils mariner Abstammung, teils lagunärer Entstehung, teils, wie etwa das Perm, wieder echt kontinental sind. Das sind die Bildungen des Silur, Devon, Karbon, Perm, des Trias, des Jura, der Kreide und der ganzen Folgezeit. Trotz aller Verschiedenheit liegt ein einheitlicher Zug in den Ablagerungen. Sie liegen flach, oder wenig gestört, sie sind nicht metamorph, sie sind durch große Lücken getrennt, sie führen eine Flachsee-, Brackwasser-, Littoralfauna oder Landfauna. Nirgends finden wir Eruptiva. Das ganze Land hat seit alter Zeit einen bestimmten Charakter festgehalten und dieser kommt in der postarchäischen Sedimentdecke zum Ausdruck.

Ein kleines Abbild zu diesem großen Bilde ist etwa die Ausbildung des Mesozoikum in Deutschland. Auch hier wechseln Flachwasserbildungen, lagunäre Räume mit kontinentalen. So entsteht der Buntsandstein, dann wieder der Muschelkalk, dann wieder der Keuper, im Jura kommt wieder marine Flachwasserbedeckung, die bis zum Neokom andauert. Dann folgt eine Festlandsperiode, in der Oberkreide wieder marine Bedeckung.

Digitized by Google

Solche Verhältnisse stellen sich über den alten erstarrten Massen dort ein, wo Geosynklinalen in der Nähe sind, aus denen von Zeit zu Zeit Transgressionen ausgehen. Wo aber dies nicht der Fall ist, da entstehen echte kontinentale Bildungen. So im zentralen Asien, im Angaraland. Dort findet sich die Serie der Angaraschichten, eine echt kontinentale, teils humide, teils aride Bildung von ungefähr 1500 m Mächtigkeit. Sie beginnt wahrscheinlich gegen Ende des Paläozoikum und geht durch das ganze Mesozoikum durch. Es sind Schiefer, Sandsteine, Mergel, Konglomerate. Die ariden Gesteine aus der Serie sind Wüstengesteine mit lebhaften Farben. Sie erstrecken sich vom Pamir, wo Muschketow westlich von Kaschgar eine rhätische Fauna entdeckt hat, bis hoch hinauf nach Norden, werden im Bogdo-Ola sehr mächtig (Merzbacher). Man kennt Pflanzen aus dieser Serie aus dem Jura. Erst hoch im Norden, weit im Osten stellen sich marine Faunen ein. Im zentralen Teil aber setzen die kontinentalen Bildungen in den Hanhai-, den Gobischichten durch das Tertiär bis in die Gegenwart fort.

Dieser Typus echt kontinentaler Bildungen durch so lange Zeiten hindurch findet sich auf der afrikanischen Tafel, in Brasilien, dort in Verbindung mit glazialen Ablagerungen aus der älteren Zeit. Wieder sind es in Afrika aride Serien, wie der nubische Sandstein, in dem paläozoische und mesozoische Ablagerungen vorliegen (Arabien). Am Golf von Sues liegen im Sandstein auch marine Elemente in Spuren (Karbon).

Paläozoische Glazialbildungen finden sich in Australien, Afrika, Südamerika in Verbindung mit kontinentalen Bildungen, und zwar meist an der Basis derselben, so daß sie von jüngeren Serien bedeckt werden.

Die Bedeutung der Fazies.

Diese Faziesreihen sind für den Aufbau der Rinde von großer Bedeutung. So sind vor allem als Abkömmlinge der Orogene die abyssale, bathyale, neritische Fazies in normaler und metamorpher Entwicklung, dann die Flysch-, die Molasse-Fazies, von den Eruptivgesteinen die „grünen Gesteine“, dann die pazifischen Gesteine Leitgesteine im Aufbaue der Rinde und so kommt ihnen eine ähnliche Rolle zu wie etwa den Leitfossilien.

Wo wir diese Serien zusammen, oder einzeln, oder gar nur in Trümmern, in einzelnen Schollen, Horsten treffen, können wir mit großer Sicherheit auf ihre orogene Abkunft schließen. Dies ist außerordentlich wichtig, denn wir erhalten ein Mittel an die Hand, Orogene aus dem faziellen petrographischen Charakter zu erschließen. Von besonderer Wichtigkeit wird dies etwa bei ozeanischen Inseln. Finden wir dort

Digitized by Google

Sedimentteile orogener Abkunft, so haben wir einen Anhaltspunkt für die allgemein tektonische Position dieses Rindenstückes.

Wir haben auch gesehen, wie eine Faziesreihe durch lange Epochen hindurch ihren spezifischen Charakter beibehält. Wenn wir finden, daß zwei verschiedene Faziesreihen scheinbar nebeneinander liegen, etwa eine rein kalkige (bathyale) Entwicklung neben einer schiefrigen, die gar noch metamorph ist, so haben wir hier ebenfalls ein Mittel, orogenen Charakter im Baue anzunehmen. Wir werden auf Bewegungsvorgänge schließen müssen, durch welche die in der Geosynklinale weit voneinander liegenden Typen, nahe nebeneinander oder übereinander gelagert worden sind.

Die Metamorphose der Faziesreihen gibt uns den Beweis einer regionalen Umformung. Diese erfolgt nur im orogenen Kraftfelde. Wo wir also auf solche regional metamorphe Entwicklungen stoßen, befinden wir uns im orogenen Felde. So gibt die Metamorphose des weiteren noch die Möglichkeit, aus dem allgemeinen faziellen Verhalten auf orogene Zonen zu schließen.

Die regionale Verbreitung der Faziesreihen.

Wir haben es hier mit allgemeinen Erscheinungen zu tun. Verschiedene Faziestypen sind geradezu kosmopolitisch. Einzelne Schichten und ganze Formationsreihen finden sich, wie schon zu zeigen versucht worden ist, in fast der gleichen Entwicklung in allen Breiten der Erde durch alle geologischen Perioden hindurch. Die Identität der Gesteine ist eine so große, daß man im einzelnen die Schichtgruppen der verschiedensten Gebiete der Erde und auch des verschiedensten Alters oft nicht leicht zu trennen vermag. Es finden sich aber bei genauerer Kenntnis der Verhältnisse immer wieder Differenzierungen, Nüancen, die eine Unterscheidung ermöglichen. Der petrographische Charakter kann im großen leicht täuschen, doch die genauere fazielle Analyse wird beim Fehlen stratigraphischer Anhaltspunkte eine Scheidung ermöglichen.

Die typischen Faziesreihen führen immer die dem gleichen Milieu angepaßten Faunen. So wird man in den bathyalen Faziesreihen ozeanische Formen treffen, in den neritischen mehr lokale Vergesellschaftungen. Gestein und Fauna hängen aufs engste zusammen. Darin kommen ja die physikalisch-klimatischen Bedingungen zum Ausdruck. Die natürlichen Klimagebiete spiegeln sich scharf ab, besonders in den kontinentalen Serien.

So wirkt wieder eine Reihe von Umständen zusammen, um aus den Gesteinsserien auf ihre allgemeine regionale Bedeutung, auf ihre Genetik zu schließen.

Hier mögen nur einige Gesteinstypen noch angeführt werden, um den durchgehenden Charakter desselben aufzuzeigen.

Digitized by Google

Rote marmorähnliche Kalke vom Typus der Hallstätter Kalke finden sich, in Gesellschaft von Archäocyathen Kalk im Unter-Kambrium am Jenissei, ähnliche Gesteine sind manche der Goniatitenkalke des Devon, dann kommen die typischen Hallstätter Marmore der Trias, durch die ganze Tethys hindurch, vom Sunda-Archipel über Europa bis nach Zentralamerika reichend.

Die Bedingungen, die zur Entstehung dieser Gesteine führten, bestehen also seit alter Zeit. Das sind in dem Falle die bathyalen Verhältnisse.

Radiolarite finden sich in vollkommen gleicher Entwicklung durch die ganze Erde und durch alle Epochen hindurch. Die Radiolarite des Silur sind genau solche Abyssite wie etwa die aus dem Jura der Alpen oder aus dem Miozän von Trinidad. Wieder bestehen seit alter Zeit in den Ozeanen die gleichen Bedingungen und führen zum gleichen Gestein. Es ist die Tiefsee.

Werfener Schiefer findet sich in typischer Fazies von den Ostalpen bis in das Pamirplateau, andererseits sehen wir die Spitischiefer vom Himalaya mit vollständig gleichem Habitus bis in den Archipel hineinziehen und manche Gesteine, wie die Schieferplatten mit Bel. Gerardi sind im Handstück in beiden so weit auseinanderliegenden Gebieten kaum zu unterscheiden (Uhlig).

So lassen sich Faziesreihen weithin über die Erde verfolgen und geben wichtige Aufschlüsse über ihre Bedeutung, über ihre Genetik und geben die Möglichkeit auch dort, wo nur, wie in Inseln, Stücke vorliegen. die geotektonische Position dieses Rindenteiles zu deuten.

Die vertikale Verbreitung.

Einzelne dieser Faziestypen finden sich in Schichten aller Formationen. In anderen Fällen sahen wir eine Faziesreihe durch ganze Formationen hindurch gehen, ohne den Charakter wesentlich zu ändern. In wieder andern Fällen sehen wir, daß sich im vertikalen Aufbau gesetzmäßige Veränderungen vollziehen. So geht die voralpine Trias im Jura in mehr bathyale Sedimente über, um dann im Tithon-Neokom sogar abyssal zu werden. Hier handelt es sich um allgemeine Erscheinungen, die mit dem allmählichen Tieferwerden der Geosynklinale zusammenhängen. Wir können in der alpinen Geosynklinale im Jura in den meisten Fällen eine Vertiefung verfolgen. Wir verfolgen übrigens die gleiche Erscheinung auch z. T. in den epikontinentalen Reihen. Dort spricht man von einer Transgression. Es ist aber dasselbe Bild des Tiefertauchens der Erdrinde unter den Wasserspiegel des Weltenmeeres. Der Boden des Ozeanes senkt sich immer mehr in der Phase der Evolution, zieht große Teile des Kontinentalen in seinen Bereich. Dies erreicht kurz vor der ersten Hauptgebirgsbildung sein

Digitized by Google

Maximum. Dann folgt der gewaltige Umsturz der Revolution und damit bilden sich ganz neue Verhältnisse heraus.

Die Korrelation der Fazies.

Das gesetzmäßige Verhalten, Entstehen der großen Faziesreihen ist damit genügend aufgezeigt worden. Noch eins muß betont werden. Das ist die Korrelation der Fazies. Wie die Organe des Körpers untereinander und zum Ganzen in Korrelation stehen, genau so gilt dieses Gesetz auch für die Faziesreihen. Auch sie stehen in sich und zueinander in Korrelation. Jedes Gestein, jede Schicht einer Fazies, jede solche Einheit steht wieder zu der nächsten andern in strengster Korrelation. Wenn wir die eine Fazies kennen, vermögen wir die andere Fazies, die damit verbunden ist, abzuleiten, wir können und müssen nicht nur die Typen verfolgen, viel wichtiger ist es und bedeutungsvoller für die Genetik, von einer Schicht zur anderen, von einer Fazies zur anderen die Bindeglieder zu suchen, und so das ganze alte Bild zu rekonstruieren. Halten wir nur die Typen fest, so zeichnen wir ein rohes Bild, vermögen wir die verbindenden Glieder zu suchen, so ergänzen wir das Bild, vervollständigen die Geschichte der Genetik dieser Faziesreihen. Je genauer wir alle Beziehungen von einer Faziesreihe zur andern kennen, desto genaueren Einblick erhalten wir in die Genetik dieser Regionen. Genau so wie die paläontologische Überlieferung einen Maßstab gibt für das Alter, genau so müßte die genaue Verfolgung der Faziesreihen die Altersbeziehungen feststellen lassen.

Das genaueste Studium der Fazies wird anch deswegen von außerordentlichem Interesse, weil erst die genaue Erkennung der feinen Faziesnüancen und Differenzierungen zur richtigeren Erkenntnis des Entwicklungsganges der Erde führt.

Die Beziehungen der Fazies zur Metamorphose.

Es ist eine eigentümliche Erscheinung, daß sich die Metamorphose gleichsam an gewisse Faziesreihen kettet. Besonders ist es die neritische Gruppe, und zwar wieder die mehr schiefrige Entwicklung. Wir erinnern an die mesozoischen Bündnerschiefer oder an die rheinische Schieferentwicklung, während die rein kalkige Entwicklung sowohl des Mesozoikum als anch des Paläozoikum frei oder wenig der Metamorphose unterworfen sind. Es wird Ausnahmen geben, aber hier handelt es sich darum, das allgemeine Bild festzuhalten. Das Bathyal der Paläiden mag besonders in den basalen Teilen mehr oder weniger metamorph sein, nach oben zu tritt allem Anschein nach die Metamorphose zurück. Auch das Abyssal der Schiefer-Hornsteinfacies der Dinariden scheint eine

Digitized by Google

gewisse Metamorphose erlitten zu haben. Das kontinentale Feld ist naturgemäß frei von regionaler Metamorphose.

Die Metamorphose im geosynklinalen Felde hängt mit der Versenkung der geosynklinalen Böden, mit der großen Anhäufung von Sedimenten, mit den orogenen Bewegungen eng zusammen. Daß die kalkigen Ablagerungen weniger der Metamorphose verfallen, scheint auch auf das tektonische Verhalten dieser meist starren Platten gegenüber den Bewegungen zurückzuführen zu sein. Sie weichen offenbar aus, schieben sich, wo eine schiefrige Basis vorhanden ist, auf dieser von der Unterlage ab, und werden infolge ihres Widerstandes nicht so leicht in den orogenen Kampf mit einbezogen. Anders die Schiefer-Serien. Sie verfallen leichter den Bewegungsvorgängen, werden von diesen erfaßt. Sie sind auch plastischer. So werden sie dem orogenen Prozeß unterworfen und metamorphosiert.

Es sind aber offenbar noch andere regional-tektonische Faktoren vorhanden, die dabei eine große Rolle spielen. Es sind vor allem die Randzonen der Geosynklinalen, die überwältigt werden, die in die Tiefe gepreßt, von den Innenzonen der Geosynklinale überschoben werden. So ist es selbstverständlich, daß die neritischen Randzonen der Geosynklinale regional metamorphosiert werden. Sie bilden die tiefsten Decken. Auf ihnen liegen die oberen nicht metamorphen Decken der Innenzone der Geosynklinale. Sie sind dann als Oberflächendecken nicht metamorph.

Die Beziehungen der Fazies zu den Eruptivgesteinen.

Mit dem verschiedenen Verhalten der starren und widerstandsfähigen Kalkserien und der viel plastischeren Schieferserien mit der verschiedenen Regionaltektonik geht Hand in Hand auch ein abweichendes Verhalten gegenüber den Eruptivgesteinen. Wieder sind es die Schieferserien, die vor allem reich an Eruptiva sind. Wir finden dieselben im Mesozoikum, im Paläozoikum. Die bathyale Entwicklung ist frei oder arm an Eruptiva, die mit der Gebirgsbildung direkt im Zusammenhange stehen, während die Schieferserien geradezu mit Eruptiva gespickt erscheinen. Dieses gilt für das Abyssal wie für die neritische Serie. Besonders die Radiolarite sind häufig mit grünen Gesteinen verbunden. Offenbar hängt das mit der Tiefenversenkung dieser Zonen zusammen. In der Tiefsee ist die Erdrinde weniger widerstandsfähig und hier dringen bereits in Form von Gängen und Stöcken oder als submarine Ergüsse basische Eruptiva auf. Auch die Basizität der Eruptiva ist auffallend.

Digitized by Google

Die Beziehungen der Fazies zur Gebirgsbildung.

Schon aus diesen angeführten Erscheinungen wird es klar, daß sich die verschiedenen Faziesreihen des Orogen den gebirgsbildenden Prozessen gegenüber verschieden verhalten. Die bathyalen Kalktafeln werden jedenfalls infolge des Ausweichens nach oben — infolge ihrer großen Riegheit — nicht dieser intensiven Faltung unterworfen und erscheinen, besonders in den jüngeren Kettengebirgen, als starre, flache, scheinbar wenig gestörte Tafeln. Dies ist aber ein Trugbild, denn die genaue Analyse ergibt auch in diesen Fällen, daß weitgehende Dislozierungen vorliegen. Es sind en bloc-Bewegungen. Anders die (abyssalen) neritischen Gebiete. Hier herrscht oft eine intensive Kleinfaltung, Verfaltung, komplizierte tektonische Bilder entstehen. Wo regionale Metamorphose vorhanden ist, handelt es sich um tektonische Strukturen, die unter Belastung, unter Druck, in größerer Rindentiefe unter Plastizität vor sich gegangen sind. Es gibt aber auch neritische Serien, die bei fast gänzlichem Mangel an Metamorphose, bei scheinbar flacher, ruhiger Lagerung, dennoch intensive isoklinale Deckfalten aufweisen. Solche Profile kennen wir besonders aus den Schweizer Alpen.

Schieferhorizonte spielen bei den Bewegungen eine wichtige Rolle. Sie werden zum Gleit- (Schmier-) Mittel. Auf ihnen erfolgt die Bewegung. Auf den Schieferflächen lösen sich Gesteinspakete von ihrem Untergrunde los und gehen selbständig auf Wanderung. Diese Bewegungsvorgänge sind meist gleitende.

Wieder in anderen Fällen nehmen einzelne Horizonte in einer Schichtgruppe eine gewisse Plastizität an, steigen unter Druck oder bei Aufnahme von Wasser (Salzekzeme von Lachmann) in die Höhe, pressen sich durch das Dach in Form von Gängen, Schloten und Stöcken, z. B. der Werfener Schiefer zwischen Dachsteinkalk.

Diese Verhältnisse differentialer Bewegungen werden hier nur der Vollständigkeit halber angeführt.

Fazies und Morphologie.

Die Oberflächenform einer Bauform ist das Ergebnis mannigfaltiger Kräfte. Unter den Faktoren, die eine Oberflächenform bedingen, wie Klima, wirkende Agentien, innere Struktur, Alter der Bauform, spielt der Gesteinscharakter, die Fazies einer Bauform eine große Rolle. Wir wollen hier auf die Beziehungen nur hinweisen. Auffallend in der Landschaft ist das Bild der mächtigen (bathyalen) Kalkfazies. Anders ist wieder der Charakter neritischer Bausteine.

Die Kalkhochalpen der Ostalpen sind durch die mächtigen Kalkstöcke der bathyalen Serie bedingt, die Voralpen wieder durch die Kalkschiefer-Fazies. Die charakteristische Oberflächenform des Juragebirges


Digitized by Google

hat ihren Grund in der leichtfaltbaren Schichtserie (neritischen), aus der dieses Gebirge aufgebaut ist. Wieder ganz andere Züge wird ein kristalliner Aufbau zeigen. Aber nie wird eine kalkreiche Serie (Kalkhochalpen) morphologisch-tektonisch das Bild des Juragebirges erzeugen können, nie eine Granitlandschaft den Bau der Voralpen. Die ariden Serien der Wüsten haben markante Charaktere. Die Formen der Bad Lands, der Sahara, des Juragebirges, der Kalkvoralpen, der Kalkhochalpen, der Ostalpen, des Karstplateaus sind Typen in der Oberflächenstruktur der Erde, in der die Fazies einen bestimmenden Einfluß hat neben anderen Faktoren.

Die Mächtigkeit der Faziesreihen.

Man hat große Zahlen für die Mächtigkeit mancher Sedimentmassen in geosynklinalen Gebieten errechnet. Das aber sind z. T. tektonische Mächtigkeiten, also sekundäre Erscheinungen, hervorgegangen aus wiederholter Faltung.

Wenn wir die wahren Mächtigkeiten der Sedimente im orogenen und im epikontinentalen Zyklus prüfen, so kommen wir zu einer auffallenden Übereinstimmung der Stärke der Formationsreihen. Man kann wohl sagen, daß eine Faziesreihe oder eine Formationsgruppe durchschnittlich nicht über die Mächtigkeit von 3000—4000 m hinausgeht. Das scheint schon ein Maximum zu sein. Wo es Faziesreihen gibt, die weit über diese Ziffern hinausgehen, ist jedenfalls Vorsicht am Platze. Mächtigkeiten von 10 oder gar 18 km für eine Faziesreihe oder Formationsgruppe existieren primär nicht.

In den Alpen z. B., die in dieser Hinsicht zu den best bekannten Teilen der Erde gehören, geht das Mesozoikum sicherlich nicht über eine Mächtigkeit von höchstens 3000 m hinaus, desgleichen auch das Paläozoikum. Wo auffallend große Mächtigkeiten vorliegen, sei es in einer Schicht oder in einer Formation, sind sie sekundär, tektonisch.

Die Anordnung der Fazies in den Kettengebirgen und in der Geosynklinale.

Die verschiedenen Faziestypen, die wir kennen gelernt haben, treffen wir in der Gegenwart in den Kettengebirgen. Hier liegen sie in gewisser gesetzmäßiger Verteilung, die wir später kennen lernen werden. Um ihre ursprüngliche Lage in der Geosynklinale zu erfahren, haben wir den Bau der Kettengebirge zu analysieren. Wir haben die Aufgabe, die Faziesgebiete aufzurollen, und so erst erhalten wir aus ihrer jetzigen sekundären Lage die ursprüngliche Anordnung in der Geosynklinale. Auf diesem Wege erhalten wir Einblick in die alte Ozeanographie. Hier wollen wir nur noch betonen, was

Digitized by Google

ebenfalls später noch genauer ausgeführt werden soll, daß die Geosynklinalen nicht schmale, flache Meereskanäle sind, wie man dies etwa auf den Karten von Haug gezeichnet sieht. Diese Art der Darstellung hat jedenfalls viel zu der falschen Vorstellung beigetragen. In Wirklichkeit sind die Geosynklinalen große Meeresräume, echte Ozeane. Dies bezeugen die großen regionalen Phänomene, die wir in den Faziesreihen, im Charakter der Gesteine, ihrer Verbreitung, ihrem Fossilgehalt nach kennen gelehrt haben.

III. Die Bewegungen.

Allgemeines.

In dem allgemeinen kosmischen Gesetz der Massenkonzentration und -Kondensation sehen wir eine der Grundlagen des Entwicklungsprozesses der Erde. Aus diesem geogenetischen Grundgesetz folgt die Tendenz der Erdrinde zu zentripetaler Bewegung. Diese Bewegungsform ist die Bewegungsform der Schwere und damit eine Kraftquelle und Erscheinung, die mit dem Wesen der Materie verbunden ist.

Die zentripetale Bewegungsform ist der Erdrinde immanent. Sie ist nach unserer Auffassung die Grundform aller Bewegungen, die wir in und auf der Erdrinde nachweisen können. Alle anderen Bewegungsformen führen aller Wahrscheinlichkeit nach in ihren letzten Ursachen auf diese Bewegung zurück und sind nur Umsetzungen dieser Grundbewegung.

Wir kennen, sagt Suess, nur eine Kraft, die Schwere, und diese Kraft erzeugt die Senkungen, Hebungen gibt es nicht. Wir kennen keine Kräfte, die solche erzeugen könnten mit Ausnahme jener, die aus Faltungen hervorgehen.

Wir schließen uns hier vollständig diesen Anschauungen an, sehen in den Senkungsvorgängen die eigentlichen primären Bewegungen der Erdrinde. Alle anderen Bewegungen sind Folgeerscheinungen zentripetaler Bewegungen oder Bewegungstendenzen. Zweifellos existieren große horizontale Bewegungen in der Erdrinde, große weitausgreifende hebende Bewegungen. Diese werden in der Natur erkannt. Sie sind aber die sekundären Erscheinungen.

Diese Ausführungen sind für das Verständnis der Bewegungserscheinungen sowie für die Klassifikation, für die Genetik derselben oder der von ihnen erzeugten Bauformen von großer Wichtigkeit. Die Bewegungen der Erdrinde werden als Dislokationen, Störungen,



Diastrophismus bezeichnet. Sie werden in radiale Bewegungen und in horizontale (tangentiale) Bewegungen geschieden, je nachdem sie im Sinne des Radius der Erde oder senkrecht darauf (parallel zur Erdoberfläche) erfolgen.

Die radialen Bewegungen sind die Bewegungen, die im allgemeinen mit Hebungen und Senkungen von Rindenteilen, Schollen, Längsbrüchen zusammenhängen, die zur Aufwölbung und Einsenkung führen. Die Bewegungen hat man auch disjunktive Bewegung genannt und dort, wo sie mit den sogenannten säkularen Hebungen und Senkungen der Kontinente zusammenhängen, auch als epirogenetische bezeichnet.

Die radialen Bewegungen bringt man auch mit dem Erstarren der Erdrinde in Verbindung und sieht in diesen Bewegungen ein Zerreißen, ein Auseinandergehen der Erdrinde (E. Suess).

Ihnen stehen die tangentialen Bewegungen gegenüber. Das sind die Bewegungen, die aus einer Zusammenziehung, aus der Kontraktion der Erdrinde hervorgehen, aus dem Kampfe um den Raum. Sie führen zumeist zu horizontalen oder nahezu horizontalen Verschiebungen von Rindenteilen in Form von Falten, Überschiebungen. Sie werden daher auch plikative Bewegungen genannt. Im großen finden sie sich in den orogenetischen Zonen. Darum werden sie auch orogenetische Bewegungen genannt. Durch diese Bewegungen werden die Kettengebirge erzeugt.

Dies ist die Gliederung der Bewegungen, wie sie in Lehrbüchern gegeben ist und wie sie in der Tat auch die Grundlage bildet der tektonischen Nomenklatur. Man müßte glauben, daß diese Gliederung eben in der Genetik der Bewegungen begründet wäre und so diese Gliederung eine natürliche wäre.

Das ist aber nicht der Fall. Es finden sich in der Literatur Hinweise genug, die diesen verschiedenen Bewegungstypen keine prinzipielle Bedeutung zuerkennen. Es gibt keinen so scharfen Schnitt zwischen orogenetischen und epirogenetischen Bewegungen. Es ist erkannt worden, daß epirogenetische Bewegungen z. T. orogenetische sind.

Die jungen Hebungen und Senkungen der alpinen Zonen, die damit in engstem Zusammenhange stehende morphologische Entwicklung wird gerne als epirogenetische Bewegung gedeutet, als Schollenbewegung en bloc, als Hebung, als etwas von der Gebirgsbildung Verschiedenes.

Es scheint aber, daß diese jungen Hebungen nichts anderes sind als die Fortsetzung der Gebirgsbildung nach einer Ruhepause. Was jetzt als epirogenetische Bewegung erscheint, ist eine Bewegung aus einer geologisch kurzen Zeit. Sie erscheint daher nur als Phase einer wahrscheinlich viel länger andauernden und allgemeineren Erscheinung. Die epirogenetische Bewegung ist in vielen Fällen nur ein Teil der orogenetischen. So wurde z. B. bei der Untersuchung der Ober-

Digitized by Google

flächenentwicklung im Karst, dann in den transilvanischen Alpen die epirogenetische Bewegung als Teil der orogenetischen klar erkannt (Cvijič und de Martonne).

Der wahre Sinn der Bewegungen im einzelnen.

Eine Fülle von Bewegungsbildern kennen wir. Wir können sie im Handstück studieren, wir sehen sie in kleinen Aufschlüssen, wir erkennen sie durch das Studium großer Abschnitte in Tafelländern, in Gebirgszonen, Bewegungen, so mannigfaltig in der Struktur, in der Genetik.

Manchmal haben wir direkt Anhaltspunkte bezüglich der Genetik der Bewegungsform. Meistens ist dies nicht der Fall. Wir sehen ein Bewegnngsbild, eine Bauform, aber diese ist oft eine überaus kompliziert zusammengesetzte Bewegung, so einfach es auch scheinen mag.

Einfache Bilder täuschen hier einen einfachen Mechanismus vor. Es wäre der größte Fehler, aus diesem einfachen Bilde auf eine einfache Genetik schließen zu wollen. Streng genommen haben wir kein unmittelbares Maß für alle Bewegungen.

Die Meeresfläche ist beweglich. Die Kontinentalscholle ist nicht fix. In der Erdrinde selbst haben wir keinen Pegel für die Messung der radialen Bewegungen. Die horizontalen Bewegungen lassen eher eine direkte Abmessung zu. Aber auch sie sind vielleicht gleichzeitig dabei in vertikaler Richtung bewegt worden.

Hebungen und Senkungen sind relative Maße. Wir können in den meisten Fällen nicht unterscheiden, was gehoben oder gesenkt wurde, und beziehen die Hebung auf ein Höherliegen einer Scholle gegenüber einer tieferen.

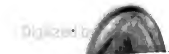
Freilich gibt es in der Natur Fälle, wo wir von Senkungen s. str. sprechen können und umgekehrt von Hebungen. Diese aber können wieder Phänomene sein von Bewegungen größeren Stils, die wir genetisch nicht fassen können.

Ist es so schwierig, besonders im Detail den wirklichen Sinn der Bewegung zu erkennen, so scheint es doch, als gebe es eine Reihe von Phänomenen, die zur Klärung der Genetik der Bewegungen beitragen können.

Versuch einer genetischen Klassifikation.

Durch die ganze Erdgeschichte geht der Gegensatz in der Gliederung der Erdoberfläche in Kontinentalschollen und ozeanische Becken. Dies ist einer der fundamentalen Züge im Anfbane der Erdrinde.

Ein zweites ist das Festhalten von zwei Niveauflächen der Erdrinde: Das mittlere Meeresniveau und die mittlere Kontinentalhöhe.


Digitized by

Ein drittes ist die fundamentale Gliederung im Aufbaue der Rinde in die erstarrten Massen und die orogenetischen Zonen.

1. Es gibt Bewegungen in der Erdrinde, die zur Entstehung der großen ozeanischen Becken führen.
2. Es gibt Bewegungen, die an die orogenetischen Zonen gebunden sind.
3. Es gibt eine Gruppe von Bewegungen, die sich im Bereiche der kontinentalen Felder abspielen.
4. Es werden Bewegungen angenommen, durch die die Kontinentalschollen gegeneinander verschoben werden, ja sogar auch eine selbständige Bewegung der Erdrinde über den Kern wird angenommen.

Wir können folgende Gruppen von Bewegungen sicher scheiden.

1. Die großen Einbrüche der Erdrinde, die zur Bildung der Meeresbecken führen (thallatogene Bewegungen).
2. Die großen allgemeinen gebirgsbildenden (orogenetischen) Bewegungen.
3. Die großen, die kontinentalen Felder betreffenden Hebungen und Senkungen (epirogenetische Bewegungen).
4. Bewegungen der Kontinentalschollen gegeneinander.

Die ersteren sind typische zentripetale Bewegungen bezw. Massenverlagerungen der Erdrinde. Sie stehen mit dem Einbruche der Rinde des Planeten im Zusammenhange.

Die zweite Gruppe der Bewegungen ist eine Folgeerscheinung der Meeresbildung, ist die gesteigerte Form der Kontraktion der Erde. Es sind gleichsam zentrifugale Bewegungen, die im Kampfe um den Raum entstehen. In der Möglichkeit des Ausweichens nach oben und nach der Seite liegt das Entstehungsprinzip dieser Art von Bewegungen. Sie sind also zentrifugal, transformiert in horizontale (transversale) Bewegungen.

Die epirogenetischen Bewegungen sind ihrer Entstehung nach, wie gesagt, schwer zu fassen. Ein Maßstab für Bewegungsrichtung könnte vielleicht in der mittleren Kontinentalhöhe gesucht werden. Alle Höhen, die über diesen beiden Einheitsflächen liegen, könnten als gehoben, gegenüber den Einheitsflächen betrachtet werden.

Die Bewegungen der Kontinentalmassen stehen mit dem Einbruche der Erdrinde im ursächlichsten Zusammenhange, so weit sie erkennbar sind. Sie ergeben sich aus dem Kampfe um den Raum. Die Verschiebungen der Kontinentalmassen gegeneinander zeigt am besten die Analyse der orogenetischen Zonen. Andere Bewegungen der Kontinentalmassen sind nicht beobachtet und daher hypothetisch.

Digitized by Google

In einzelnen Fällen, wie in Skandinavien, lassen sich Hebungen größerer Gebiete feststellen. Die Schollengebirge Inner-Asiens sind wahrscheinlich gehoben gegenüber den Ebenen der sibirischen Tafel.

Kommen wir auf diesem Wege zu einem genetischen Prinzip, so müssen wir auch daran erinnern, daß wir Bewegungen des Festen, Bewegungen in plastischen Zonen, Bewegungen der Oberfläche und Bewegungen der Tiefe zu unterscheiden haben. Wir haben ferner die Bewegungen nach ihrem Ausmaße, nach dem Grade ihrer Intensität zu scheiden. Wir haben Bewegungen, die unmittelbar aus Zusammenstau hervorgehen, zu scheiden von Bewegungen, die außerhalb des tangentialen Kraftfeldes liegen, und die auf bloßes Abgleiten der Massen zurückzuführen sein dürften. Wir haben regionale (Großformen) und lokale (Kleinformen) der Bewegungen zu trennen.

So sehen wir, daß eine Reihe von Gesichtspunkten in Betracht kommt, wollen wir die Bewegungen genetisch ordnen. Jeder dieser Versuche ist aber nur ein relativer, ein Auskunftsmittel, das im Grunde aber doch mit aller Vorsicht gebraucht werden muß. Es soll nur ein Verständigungsmittel sein, um die Erscheinungen klar zu fassen.

Die thalattogenen Bewegungen (Thalattogenese).

Es sind Großformen von Bewegungen. Sie sind zentripetale Bewegungen der Erdrinde von regionaler Bedeutung.

Bestehende Kontinente werden zertrümmert. Teile davon sinken in die Tiefe und werden den ozeanischen Senken auf lange Zeit eingefügt. Wohl zu unterscheiden von diesen Bewegungen sind die Meeresbedeckungen kontinentaler Massen durch vorübergehende Transgressionen oder Bedeckungen, die durch säkulare Hebungen und Senkungen, besser gesagt, durch Schwingungen der Erdrinde von großer Amplitude (Großfalten von Abendanon) entstehen.

Hierher sollen vor allem jene regionalen Bewegungsphänomene gestellt werden, die mit der Bildung der Geosynklinalen im kausalen Zusammenhange stehen. Hier handelt es sich um die Einbeziehungen kontinentaler Felder in die ozeanischen Senken, um ein Tieferlegen der jedenfalls zu jeder Zeit existierenden mittleren Landoberfläche auf eine mittlere Meerestiefe.

Wir können nur auf Beispiele aus der Vergangenheit und der Gegenwart hinweisen. So etwa auf den Einbruch des Gondwanalandes, auf den Einbruch, der heute Indien von Australien trennt, auf die großen Brüche, die in der Gegenwart offenbar mit dem Steilabfall der kontinentalen Felder auf die mittlere Tiefe der ozeanischen Senken zusammenhängen. Wir können an die Einbrüche erinnern, die die Kanarischen Inseln von Afrika abtrennten, an die Einbrüche des Mittelmeeres, des ägäischen Meeres in pliozäner Zeit. An große ozeanische

Einbrüche erinnert die Sage der Atlantis, die neuerdings in der Geologie Boden faßt.

Festzuhalten ist hier vor allem die Tatsache, daß wir es bei den thalattogenen Bewegungen sicherlich mit einem großartigen Zusammenbruche der Erdrinde zu tun haben, viel bedeutender wahrscheinlich, als man derzeit noch annimmt.

Die epirogenetischen Bewegungen (Epirogenese).

Diese erscheinen im großen und ganzen gerade als das Gegenteil der thalattogenen Bewegungen. Wir bezeichnen damit ja Bewegungen, die gewissermaßen zur Festlandbildung führen. Es müßten demnach zentrifugale Bewegungen sein. In vielen Fällen trifft dies zu, besonders dann, wo es sich um lokalere Verhältnisse handelt. Bei großen regionalen Bewegungen dieser Art ist es nicht immer einwandfrei darzulegen. Aber zweifellos existieren diese Bewegungen und es kann genügen, wenn wir die relative Bewegungstendenz klar erkennen. Der absolute Sinn der Bewegungen, besonders der Großformen, ist schwer zu erfassen.

Diese epirogenetischen Bewegungen sehen wir durch die orogenetischen Zonen gerade so durchgehen wie durch die alten erstarrten Massen.

Vielleicht sind manche der epirogenetischen Bewegungen nur die weiten Ausläufer orogener Bewegungen.

Andere wieder dürften Faltenwellen von gigantischer Amplitude sein, die aus der Kontraktion und aus isostatischen Motiven entspringen.

Dies sei nur angeführt, um Möglichkeiten der Deutung der epirogenetischen Bewegungen anzuführen. Sicher ist: Was wir unter diesem Namen zusammenfassen, ist keine Einheit, doch scheint zurzeit eine strenge genetische Klassifikation nicht möglich. Epirogenese kann im letzten doch auch nur Niederbruch der Rinde, also zentripetale Bewegung sein (Stille).

Strukturtypen.

Es sollen nun im folgenden Strukturtypen dieser Bauformen kurz aufgezeigt werden.

Der Graben-Horsttypus.

Wie der Name schon sagt, handelt es sich hier um Rindenteile der Erde, die dadurch charakterisiert sind, daß die Rinde durch Bewegungsvorgänge in Streifen, Schollen zerlegt wird, die gegeneinander verschoben werden. Schollen werden in die Tiefe gepreßt, andere steigen in die Höhe. Die Tiefschollen bilden die Gräben, die Hochschollen die Horste. Brüche, Überschiebungen stellten sich ein, desgleichen treten auch gern vulkanische Erscheinungen auf. Das morphologische Bild wird durch diese Graben- und Horstbildung ein anderes. Die Erosion wird durch die Emporwölbung von Schollen neu belebt.

Digitized by Google

Ein neuer geographischer Zyklus setzt ein. Die geologische Geschichte dieses Teiles der Erdrinde tritt in ein neues Stadium. War früher noch eine weite Ebene vorhanden, eine alte reife (greisenhafte) Landschaft, so tritt sie mit der Dislozierung neuerdings in ein Anfangs-, in ein Jugendstadium. Die Niveauunterschiede können bedeutende sein. Auf der Höhe der Horstschollen wird die alte Landoberfläche längere Zeit noch sichtbar bleiben. Pluviale, aride oder glaziale Zyklen können diesen alten Formen ihre Charakterzüge einprägen.

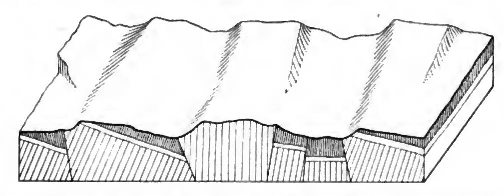


Fig. 1. Schema des Graben-Horsttypus. Auf einem alten kompliziert gebauten Grundgebirge liegt eine zusammenhängende Sedimentdecke transgressiv. Durch radiale Dislokationen (Brüche) werden Gräben und Horste (Tief- und Hochschollen) erzeugt. Die Sedimentdecke ist meist nur mehr in den Gräben vorhanden. Die Horste zeigen Verebnungsflächen. Die Bruchränder grenzen morphologisch und tektonisch die Becken und Horste scharf ab.

Ein bekanntes Beispiel für das Gesagte ist der Rheingraben mit den Horsten des Schwarzwaldes und der Vogesen.

Der Rheingraben ist ein Einbruch in den variszischen Gebirgen Süddeutschlands. Er läuft von S.—N. und ist im Oligozän entstanden. (Fig. 2, Seite 52.)

Wir wollen zugleich an diesem Beispiel eine Darstellung der Erklärungsversuche dieses Phänomens geben. Gerade dieses Beispiel ist in dieser Hinsicht recht instruktiv und gibt die Entwicklung der Anschauungen wieder.

Ursprünglich faßte man Schwarzwald und Vogesen als Inseln im Trias-Jura-Meere, als Horste in demselben auf, da die Bildungen des Jura und der Trias auf den Höhen des Schwarzwaldes und der Vogesen fehlten. Nach diesen Anschauungen müßte der Graben, das ganze Relief alt sein.

Die fortschreitende Erkenntnis korrigierte dieses Bild und es mußte der Vorstellung weichen, daß Schwarzwald und Vogesen genau so wie ihre Umgebung in der Trias oder im Jura, in den Zeiten der Meeresbedeckung, unter Wasser lagen. So kam man dann zur Vorstellung der späteren Entstehung des Rheingrabens.

Digitized by Google

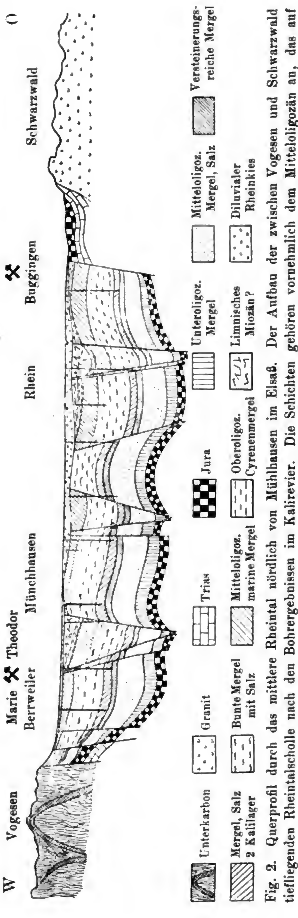


Fig. 2. Querprofil durch das mittlere Rheintal nördlich von Mühlhausen im Elsaß. Der Aufbau der zwischen Vogesen und Schwarzwald tiefliegenden Rheintalscholle nach den Bohrergebnissen im Kalirevier. Die Schichten gehören vornehmlich dem Mitteloligozän an, das auf Oberdogger lagert (ergänzt nach W. Wagner). Aus Tornquist, Formationskunde.

Dann war die Frage zu entscheiden: Sind die Vogesen und der Schwarzwald stehengebliebene oder sogar gehobene Teile, während der Rheingraben eingesenkt ist. Man erkannte die alten Verebnungsflächen auf den Höhen der Horste. Man erkannte ferner das regionale Phänomen des Rheingrabens, dessen weitere Fortsetzung durch Hessen, bis hoch nach Norden hinauf. Ja sogar der Graben von Christiania wurde damit in eine genetische Reihe gestellt. Man erkannte die N.—S.-Linie der großen Dislokation und brachte sie mit einer Zerrung des Planeten in Zusammenhang. Die Rinde sollte längs dieser Linie bersten.

So stellte man sich den Graben als eine echte Versenkung eines Streifens der Erdrinde dar, entstanden durch Auseinandergehen der Rinde (Suess).

In das ganze Bild paßten aber eine Reihe von Phänomenen nicht. Im Jura ist von einer solchen Zerreißung nichts zu sehen. Gerade das Gegenteil ist der Fall, und erst wo der Jura dem Rheingraben am nächsten kommt, sind die Faltungserscheinungen am stärksten. Im Blötzbergtunnel (Hauensteintunnel) ist das Tertiär von den Trias-Jura-Kreidefalten der Kettenzone überfaltet. Im Osten des Rheingraben wurden Brüche aufgefunden, die zu Überschiebungen geführt haben, im Graben selbst zeigte die genauere Analyse ein staffelförmiges

Digitized by Google

Übertreten der Horste über den Graben. — Statt der Zerrung fand man Zusammenpressung.

Man erkannte die domförmige Aufwölbung des Schwarzwaldes und der Vogesen, man lernte das Phänomen von weiterer Basis aus betrachten und fand, daß das Phänomen des Rheingraben besser verstanden werden konnte derart, daß Schwarzwald und Vogesen durch Zusammenstau einer großen breiten domförmigen Aufwölbung, durch ein Antiklinorium, wie Abendanon sagt, gebildet worden seien. Eine Großfalte ist entstanden. In dieser Großfalte ist durch einen Scheitelriß ein Sprung entstanden, infolge der mit der Auftreibung verbundenen Vergrößerung des Volumens an der Oberfläche. Dieser Sprung ist der Rheingraben.

Das ist aber eine Erklärung im Sinne der Kontraktion und nicht der Zerrung. Der Rheingraben ist in diesem Sinne ein Scheitelbruch einer großen Antiklinale.

Von diesen Vorstellungen ausgehend, können wir das Pariser Becken, die schwäbische Tafel wieder als Synklinorium betrachten, dazwischen das im Scheitel eingebrochene (Rheingraben) Vogesen-Schwarzwald-Antiklinorium. Auch die böhmische Masse kann als Antiklinorium bezeichnet werden. Vielleicht kann man Formen dieser Art mit deutlicher Längserstreckung auch als Antiklinoid, Synklinoid bezeichnen, zu denen als Großformen die Geantiklinale bezw. Geosynklinale gehören.

Damit kommen wir zu einem Typus von Bewegungsformen, die wir bereits als Großfalten bezeichnen können.

Diese Großfalten sind regionale Formen, nur große gesteigerte flache Mulden mit Sätteln. Wir müssen diesen Formen große Spannweiten einräumen. Diese Bewegungsformen sind vielleicht die Unterlage für die säkularen Hebungen und Senkungen. Diese Großfalten scheinen ganze Erdräume zu umfassen, das Auftauchen und Versenken kontinentaler Räume könnte mit diesen Bewegungen zusammenhängen.

Der Rheingraben ist ein Einbruch zwischen Horstschollen. Er muß aber nicht als lokale Senkung gedeutet werden. Als ein Teil eines regionalen Phänomens hat er bereits kompliziertere Genetik. Die lokale senkende (radiale) Bewegung ist ein Teil einer regionalen epirogenetischen.

Schollenstrukturen im großen.

Schwarzwald und Rheingraben sind mit ihrem Bauplan nur ein Teil einer allgemeineren Bauformel, der Schollenlandschaft, wie sie den Bau von Deutschland beherrscht. Schwarzwald, die böhmische Masse, der Harz sind Teile davon. Der Typus dieses Baues besteht darin, daß aus einer verebneten Fläche in jüngerer Zeit, vom Oligozän an, einzelne Stücke gehoben werden. Die einzelnen



Schollen zeigen deutlich die alte Peneplain, so der Schwarzwald, der Harz, der Böhmerwald. Die Schollenhöhe ist nicht gleich hoch und ist keine beträchtliche. Die Ränder sind Brüche und Überschiebungen. Gesetzmäßigkeit liegt der Richtung der Überschiebung zugrnnde insofern, als immer die tieferen Teile überschoben werden. So die Überschiebung an der Lausitzer Linie, an der das Riesengebirge mit südlicher Überschiebung über die vorliegende tiefere Scholle geht, oder die Überschiebung des Harz auf der Nordseite, wo Kreide von paläozoischen Schiefern überfahren wird, oder der Überschiebnngsrand des Böhmerwaldes über die vorliegende Kreide Bayerns. Es sind lokale Überquellungen, die im Kampfe um den Raum entstehen, in dem Teile der Erdkruste emporgetragen werden, andere werden in die Tiefe gepreßt. Gerne treten alte Granitmassen umgeben von Schiefermänteln als Hochschollen auf.

Die Schollenlandschaft ist aus der alten paläozoischen Kettenregion herausgeschnitten worden.

Die allgemeinen großen Linien, die dieser Schollenlandschaft zugrunde liegen, können wir hier nicht näher besprechen. Es treten NW—SO streichende Linien auf.

Wie im kleinen, so können auch im großen diese Schollenlandschaften als Zertrümmerungen, als kontraktive Undulationsformen aufgefaßt werden, die sich im einzelnen als Überquellungen (Andrée) der emporgetragenen Schollen über die tieferliegenden Becken- und Gräbenteile äußern. (Siehe Fig. 1.)

Wir wollen noch ein weiteres Phänomen hier besprechen, das geneigt ist, die Genetik dieser Strukturen zu beleuchten.

Das ist die afrikanische Grabenreihe. (Siehe die Übersichtskarte.) Suess hat diese gewaltige Dislokationsspalte in der Erdrinde frühzeitig erkannt und in der letzten Zeit ist die Grabenreihe in Deutsch-Ostafrika eingehender studiert worden.

Der Mittelpunkt der Grabenreihe ist gleichsam das Rote Meer. Von hier aus zieht der Graben auf die Südseite des Hochlandes von Abessinien nach Ankober und läßt sich hier, der Seenreihe folgend, weit nach Süden über den Rudolf-Stefanie-See verfolgen. Eine weitere Grabenreihe läuft in Zentral-Afrika parallel der ersteren, umfaßt die Seenreihe des Albert-, Kivu-, des Tanganikasees. Vom Nyassasee setzt die Grabenreihe weiter nach Süden fort in die großen Bruchlinien der Ostseite von Südafrika. Die ostafrikanischen Gräben erstrecken sich nach E. Suess über 55 Breitengrade.

Es ist ein gewaltiges Phänomen. Der Graben selbst ist nicht breit, stellenweise nur 1—2 km. Im Roten Meer wird er bis 2300 m tief. Auch in Zentral-Afrika ist er von bedeutender Tiefe. Schollen sinken bis 1000 m unter den Meeresspiegel. Eine Reihe von vulkanischen Bergen begleiten

Digitized by Google

die Grabenreihe von Damaskus an, durch Arabien, Abessinien bis nach Zentral-Afrika. Die Dislokation ist relativ jung und gehört ihrer Entstehung nach ins Pliozän und Diluvium.

Ein regionales Phänomen von großer geologischer und theoretischer Bedeutung. Eine Reihe von Forschern hat sich mit der geologischen Erforschung beschäftigt und so sind auch eine Reihe von Erklärungsversuchen dieses eigenartigen Phänomens gemacht worden.

Suess hat, wie beim Rheingraben, in den afrikanischen Gräben ein kosmisches Phänomen der Zerreißung der Rinde des Planeten gesehen. Die afrikanischen Gräben sind Zerreißungen der erstarrenden Rinde.

Nach Wegener ist der Graben der Anfang einer Trennung der afrikanischen Scholle in zwei Teile, die auseinandertreiben sollen.

Man hat den Graben des Roten Meeres auch für ein ertrunkenes Tal, einen Kañon, ähnlich etwa dem des Coloradoflusses, gehalten.

Nach Obst ist der afrikanische Graben beim Einbruch des indischen Ozean entstanden. Dieser Deutung stehen entgegen:

1. Die unregelmäßige Altersfolge der Bruchzone von Osten gegen Westen.
2. Die Ergebnisse der Schweremessung.
3. Das Fehlen von Zerrungserscheinungen.
4. Die landwärtsgerichtete Neigung der Schollen u. a.

Kuntz meint, daß die gestörten Schollen über Hohlräume eingebrochen seien, die durch das Ausfließen von Magma entstanden sind.

Für die Genetik dieser Gräben ist vor allem die Beobachtung wichtig, daß im Graben sich Überschiebungen finden, die durch tangentialen Druck entstanden sind, so am Sambu. Daher sehen Uhlig und besonders Jäger in diesen Gräben keine Zerrungsregionen, sondern Regionen des Zusammenschubes. Die Gräben sind im Firste gebrochene Geoantiklinalen. Wir kommen hier zu einem ähnlichen Bilde der Genetik der großen afrikanischen Gräben, wie sie Abendanon auch vom Rheingraben gegeben hat. Auch am Roten Meere finden sich Erscheinungen, die für eine Erklärung im Uhligschen Sinne sprechen. Die ganze arabische Tafel ist eine aus der Euphrat-Tigris-Vortiefe aufsteigende mächtige NW—SO streichende Aufwölbung, deren Scheitel etwa im Roten Meere liegt. Dort gerade ist sie im Firste eingebrochen. An parallelen Brüchen, z. T. kleinen Überschiebungen sinken die Schollen in die Tiefe. Die große arabische Scholle neigt sich aber nicht, wie man annehmen sollte, wenn es eine Zerrung wäre, gegen das Rote Meer, sondern gegen das Innere Arabiens. Der Schollenrand ist aufgebogen (Kober). Dies ist ein wichtiges genetisches Moment. Wir werden später noch eine Reihe allgemeiner Momente auf-



zählen können, die dafür sprechen, daß auch diese großen Gräben Kontraktionserscheinungen der Erde sind.

Auf diesem Wege kommen wir zu den Großformen von Bewegungen der Erdrinde. Das sind große faltenartige Aufwölbungen und Einsenkungen, Großfalten, Geoantiklinalen, Geosynklinalen, oder Geoantiklinorien und Geosynklinorien, (wenn die Längsrichtung nicht so ausgesprochen ist).

Säkulare Hebungen und Senkungen wurden diese Art von Bewegungen auch genannt. Sie hängen mit mächtigen kontinentalen Aufwölbungen zusammen.

Als Typus kontinentaler Aufwölbung wollen wir hier die Skandinavische Halbinsel anführen. Diese Verhältnisse sind von de Geer untersucht worden. Die allgemeine Erscheinung ist die, daß Skandinavien steigt, während der nordatlantische Ozean — der Skandik — sinkt. Man hat das Aufsteigen der skandinavischen Halbinsel auch mit der Entlastung vom Inlandeis in Verbindung gebracht. Das halten wir für ganz sekundäre Momente und sehen in der Hebung des Landes, in der Senkung des Skandik, im Steigen Grönlands, ein regionaltektonisches Phänomen von allgemeiner Ursache.

Diese Typen von Bewegungen, Groß- und Kleinformen, werden gerne als radiale, disjunktive, epirogenetische bezeichnet. Es sind Bewegungen, die über die ganze Erde gleich hinweggehen, in den Orogenen sich gerade so finden, als in den Kratogenen. Manche dieser Bewegungsformen sind offenbar nur Anfangsstadien einer Bewegungstendenz. So können wir uns sehr gut denken, daß der fast 2500 m tiefe Graben des Roten Meeres noch tiefer werden kann, die Schollenränder dabei oberflächlich immer näher kommen, bis sie sich über der versinkenden Scholle schließen. Sie stoßen dann aneinander, können vielleicht einen Bruch vortäuschen. Man kann sich denken, daß die oberflächliche Zusammenschiebung noch weiter gehen kann und zu einer Überquellung einer Scholle über die andere führt. So ist aus einem „Grabenbruch“ eine „Überquellung“ geworden.

Es ist eine prinzipiell wichtige Erkenntnis, sich mit dem Gedanken der „Stadien“ in den Bewegungsformen vertraut zu machen. Wir sehen eben nur Bewegungsformen aus einem sehr kurzen Zeitraume und müssen bedenken, daß diese keine „Endformen“ repräsentieren, sondern nur Zwischenformen, „Stadien“ einer Reihe, die durch geologische Epochen hindurch dauern können, und deren Bewegungstendenz sogar geändert werden kann.

Digitized by Google

Beziehungen dieser Bewegungsformen zur Morphologie und zum Vulkanismus.

Wir finden auf der Erde die Oberflächenform, die vulkanischen Erscheinungen von Grabenreihen, Horstsystemen, überhaupt überall, wo regionale Sprungsysteme die Rinde durchschneiden, zerstückeln, in klarer Abhängigkeit voneinander. Das Primäre sind offenbar die Bewegungen, das Sekundäre die vulkanischen Erscheinungen. Gräben zeigen sich in den meisten Fällen als Hohlformen, Horste als Hochform. Die alten Abtragungsflächen, aus denen die Horstformen herausgeschnitten werden, kommen bei jugendlichem Alter der Dislokationen deutlich in Erscheinung. Wo die Sprungsysteme kratogene Felder zerstückeln, erscheinen die atlantischen Magmen. Es macht übrigens den Eindruck, daß auch im jungen Orogen, sobald es erstarrt ist, und die Zertrümmerungsphase (Evolution) wieder beginnt, die Magmen aus der Tiefe direkt an die Oberfläche gelangen und so wieder die normalen (atlantischen) Gesteine aus der Tiefe fördern.

Die orogenetischen Bewegungen (Orogenese).

Orogenese ist im Grunde zentrifugale Dislokation. Nach dem Grade der Dislokation unterscheiden wir Faltungs-, Überfaltungs- und Überschiebungsstrukturen.

Diese verschiedenen Formen der Dislokation können z. T. nur Stadien einer allgemeinen Bewegungstendenz sein. Sie haben recht charakteristische Züge und sind vor allem die Dislokationen der orogenetischen Zone. Häufig ist mit diesen Bewegungsformen weitgehende Zermalmung der Gesteine, des Schichtkomplexes (Mylonitisierung) oder regionale Metamorphose und heftiger Vulkanismus verbunden. Es sind z. T. Bewegungen, die sich in großen Rindentiefen bei hoher Plastizität des ganzen Gesteinskörpers abspielen (Bewegung im Plastischen).

Diese Bewegungen sind für den Bau der Erde, für ihre Entwicklung, überhaupt für den Planeten samt seinem Leben von großer Bedeutung. Die orogenetischen Bewegungen führen zum Aufbau der großen Kettengebirgszonen. Dieser Prozeß ist aber ein geologisches Geschehen, das in das Gefüge der Erde tief eingreift und große Veränderungen herbeiführen kann.

Die Geschichte der Erde ist die Summe der Zyklen. Die selbst wieder gipfeln in der Gebirgsbildung. Diese ist die Folge großer Bewegungen.

Daraus kann man am ehesten die Bedeutung der orogenetischen Bewegungen erkennen.



Faltungsstrukturen.

Wir wollen hier Faltungsstrukturen in einzelnen Typen festhalten. Es handelt sich um Formen, die hauptsächlich ans Orogen gebunden sind, also um horizontale, tangentiale, (orogenetische) Bewegungen.

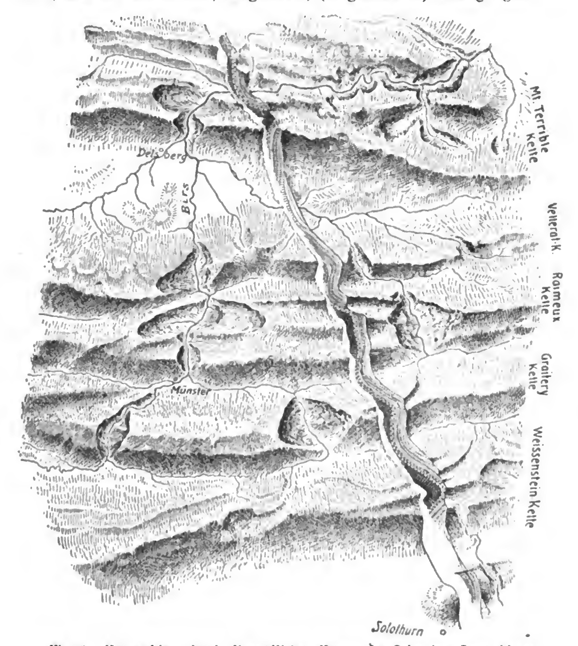


Fig. 3. Kartenskizze durch die südlichen Ketten des Schweizer Juragebirges zwischen Solothurn und Delsberg mit eingezeichnetem Profil. (Nach G. Steinmann aus Tornquist, Geologie.) Typus des einfachen Faltengebirges. Morphologie und Tektonik stimmen weitgehend überein.

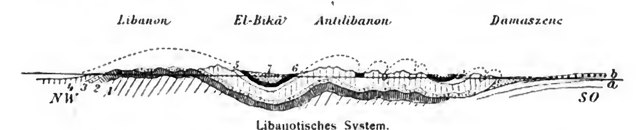
Ein typisches Beispiel dieser Strukturformen finden wir im Juragebirge. Dieses liegt zwar streng genommen nicht im Orogen, aber jedenfalls demselben sehr nahe. Seiner Entstehung nach steht es sicher mit dem alpinen Orogen in Verbindung.

Digitized by Google

Der Bau ist im allgemeinen sehr einfach. Die z. T. schon verebnete, horizontal liegende Schichtserie des Jura wird jung (Pliozän) von Bewegungen ergriffen. Faltungen entstehen. Auf der Südseite sind es mehr stehende Wellen, auf der Nordseite überstürzen sich Faltenwellen. Kerne von Muschelkalk, umgeben von jüngeren Schichten, überfalten in den nördlichen Ketten des Jura (Mt. Terrible Kette) das Miozän. Das ist dort, wo der Schwarzwald herankommt. Faltenwellen folgen aufeinander. Der innere Bau kommt im morphologischen Aufbau ganz zum Durchbruch. Das Gebirge ist, mit Heim zu sprechen, ein ehrliches. Der Talzug entspricht der Synkline, der Kamm Antiklinalen.

Das ganze Schichtsystem ist auf einen kleineren Raum zusammengepreßt worden. Die Faltenwellen vereinigen sich in einem Büschel im Süden des Schwarzwaldes. Von hier aus laufen sie gegen Westen auseinander. In gewissem Sinne ist der Jura noch ein Teil der Alpen. Er geht südlich des Genfer Sees aus den „chaines subalpines“ hervor. In der Schweiz wird er durch das Dazwischentreten der Molasse zu einem selbständigen Faltenzug. Genetisch hat man die Faltenwellen als Abscherungsdecken gedeutet (Buxtorf). Das Schichtsystem ist von seinem kristallinen Untergrund im Niveau der unteren Trias (Buntsandstein, Gips) abgelößt worden und als dünne Abscherungsdecke durch den Ansturm der alpinen Decken vorwärts getragen worden. Die Bewegung im ganzen ist keine große. Dieser Typus ist gleichsam das Anfangsstadium eines Bewegungsphänomenes, das dann im orogenen Kraftfelde, im Bereiche der Deckenbewegungen, ein allgemeines wird. d. i. die Loslösung eines Schichtgliedes von seinem Untergrunde und seine selbständige Bewegung.

Solche Faltenzüge finden sich gerne am Außensaume alpiner Ketten. So ist der Libanon seinem Aufbau nach ganz etwas Ähnliches. Solche Faltenwellen repräsentieren einen eigenen Gebirgstypus, den der Faltengebirge.



Libanotisches System.

Fig. 4. Schematisches Profil des libanotischen Systems nach L. Kober.
1. Grundgebirge. — 2. Jura. — 3. Trigonien (Nubischer) Sandstein (Cenoman). — 4. Libanonkalk (Turon). — 5. Senonmergel. — 6. Eozänkalk. — 7. Schotter.
Syrische Tafel: a) Eozän; b) Basalt.

Ein weiteres typisches Beispiel für Faltungsstruktur bildet die Außenzone der Dinariden, längs der dalmatinischen Küste. In den


Digitized

Vorlagen des eigentlichen Karstgebirges kommt diese Struktur schön zum Ausdruck. Mit großer Regelmäßigkeit streichen die Faltenwellen dahin, geologisch und morphologisch gut charakterisiert. Die Antiklinalen sind Kalke und Dolomite der Kreide, die Synklinalen jüngere Schichten des Flysches. Antiklinalen sind wieder Höhenzüge oder Inselzüge, Synklinalen Täler und Meereskanäle. Auf den geologischen Karten kommt der Bau sehr schön zum Ausdruck. Vom Jura unterscheidet sich diese Zone, daß es sich hier meistens um nach Süden überlegte, mehr isoklinale Faltenwellen handelt. Die Bewegungsintensität ist eine stärkere. Stellenweise, so z. B. bei Traû, werden Faltenwellen über vorliegende tiefere weiter vorgetragen, Teile davon sind erodiert und so löst sich die obere Faltenwelle in eine kleine Deckschollenlandschaft auf (Kerner).

Überfaltungsstrukturen (Überfaltungsdecken).

Es sind Typen von Bewegungen, die sich nur im orogenen Felde finden. Wir haben hier, wie in allen folgenden Fällen, Bewegungen der Tiefe und solche der Oberfläche zu unterscheiden und kommen also zu Tiefendecken und zu Oberflächendecken. Diese Gliederung gilt nicht nur für echte Überfaltungsstrukturen, sondern für alle Deckenstrukturen. Die Überfaltungsstrukturen sind nur spezielle Formen der Deckenstruktur, indem die Überfaltungsstruktur klar und deutlich den ganzen Faltencharakter erkennen läßt.

Wir können wieder die Art der Entstehung nach zwei Typen trennen, solche, die wahrscheinlich auf Abgleiten zurückzuführen sind und solche, die unter hoher Belastung, unter hohem Drucke in der Tiefe entstanden sind (Tauchdecken). Die ersteren fallen im allgemeinen mit den Oberflächendecken zusammen, die letzteren mit den Tiefendecken.

1. Gleitdecken.

Es sind Decken, die wahrscheinlich von einer größeren Einheit, von einem größeren Deckenkörper abgeglitten sind, und zu einer Abscherungs- oder Abspaltungsdecke geworden und dann in sich in mannigfaltiger Weise modifiziert worden sind. Beispiele dafür sind die helvetischen Decken und die daraufliegenden höheren Decken wie die Brekzien-, Klippen-, Rhätische Decke, in den Ostalpen die kalkalpinen Decken. Reyer hat schon auf die Bedeutung des Abgleitens von Schichtkörpern bei der Gebirgsbildung hingewiesen. H. Schardt hat zuerst die Deckenmassen der Freiburger Alpen, der Chablais, als solche Gleitdecken aufgefaßt, eine Vorstellung, die die Verhältnisse ganz gut erklärt. Es sind vollständig passiv bewegte Massen. Sie sind in ihrer Grundanlage im tangentialem Kraftfelde erzeugt worden. Als aber die Deckenmassen bestimmte Dimensionen, bestimmte Verhält-

Digitized by Google

nisse angenommen hatten, entstanden aus ihnen sekundär als Abspaltungsprodukte, die Steinkäskaden der Gleitdecken. Ihre Genetik wird am leichtesten verständlich, wenn wir an die sich überschlagenden dinarischen Falten denken. Wenn diese noch mehr übertrieben werden, durch das weitere Vorrücken weiter rückwärts liegender Decken, so können eben solche Faltenwellen entstehen. Vor vorliegenden Hindernissen türmen sie sich auf. Haben sie aber die Höhe erstiegen, dauert der Druck weiter an, so gleiten sie von selbst in die vorliegenden Tiefen hinab, wieder stellen sich am Boden Hindernisse ein. Wieder können sich aus dem Dach der Decke neue Teildecken bilden. Dies ist das Bild, wie es die helvetischen Decken bieten.

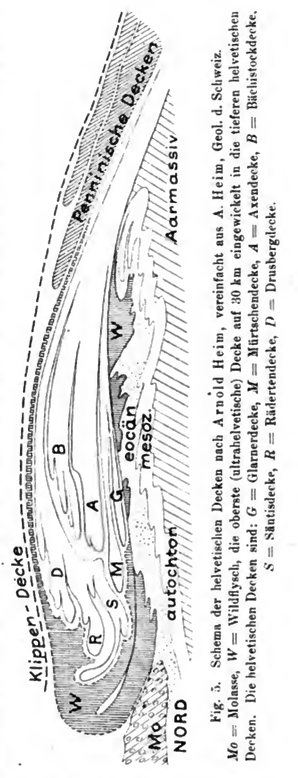


Fig. 5. Schema der helvetischen Decken nach Arnold Heim, vereinfacht aus A. Heim, Geol. d. Schweiz. *Mo* = Molasse, *W* = Wildflysch, die oberste (ultrahelvetische) Decke auf 30 km eingewickelt in die tieferen helvetischen Decken. Die helvetischen Decken sind: *G* = Glarnerdecke, *M* = Mürtschendecke, *A* = Axendecke, *B* = Bächistockdecke, *S* = Säntisdecke, *R* = Rädertendecke, *D* = Drusbergdecke.

Die helvetische Decke zeigt im Profil der Glarner Überschiebung deutlich die Umbiegung des autochthonen Flügels in den umgeschlagenen. Es ist die Reduktion des Liegendschenkels der Falte klar zu sehen. Die älteren Teile der Falte bleiben zurück. Die jüngeren eilen vor und bilden mannigfache Teildecken, Stirndigitationen. Die ganze Decke zeigt klar die Wurzelregion, wo die Decken entstanden sind, einen aufsteigenden und einen absinkenden Ast, eine aufbrandende Stirnregion. Die Sohle der Decke ist mannigfach verändert. Vor allem ist der Schichtverband des Liegendschenkels meistens stark ausgezogen. Die Unterlage ist mitbewegt, einheitlich im Sinne der Bewegung durchbewegt. Der Rücken der Decke, die Karapassregion wird sekundär die Wurzel für kleine Teildecken. Die Stirnen der Decken branden z. T. auf bereits gefaltetem

Digitized by Google

und abradiertem Molassegebirge. Mannigfache Veränderungen der Stirnregion stellen sich ein, Verfaltungen mit dem Untergrunde, Durchspießungen usw. Solche Überfaltungsdecken zeigen häufig kein Grundgebirge. Sie sind Abscherungsdecken großen Stils. Sie zeigen meist bedeutendere Faziesdifferenzierungen, so daß sich von der tiefsten bis zur höchsten Decke schon beträchtliche Unterschiede zeigen können. Sie bilden aber doch eine stratigraphisch-faziell-tektonisch gut charakterisierte Einheit. Dies kommt auch im ganzen helvetischen Deckensystem gut zum Ausdruck.



Fig. 6. Die Überschiebung am Segnes-Paß. Die Überschiebung des Verrucano über Jura und Eozän ist scharf durch die horizontale Linie im Kamme markiert. (Glarnerdecke.) Photogr. v. L. Kober.

Wie sich solche gleitende Decken im Profil differenzieren, von lokalen Verhältnissen abhängen, so verändern sich auch in der Fläche oft rasch die Verhältnisse. Die Faltenwellen lösen sich ab. Andere Teildecken entstehen. Es entsteht eine komplizierte Deckentektonik. Hier die regionalen tektonischen Züge, die faziellen Verhältnisse aufzuhellen, vor allem die Beziehungen herzustellen, ist eine wichtige Aufgabe.

2. Der Klippentypus.

Wir wollen an die helvetischen Gleitdecken ein Phänomen anschließen, das eng mit den helvetischen (Flyschdecken) verbunden ist. Es ist das Phänomen der sogenannten (exotischen)

Digitized by Google

Klippen. Die Erscheinung ist uns aus den verschiedenen Gebirgen bekannt. (Fig. 7.)

Inmitten eines einheitlichen geschlossenen Gebirges des Flysches finden sich fremdartige meist ältere Gesteine des Jura, der Trias. Sie



Fig. 7. Giswyler Stock als tektonische Klippe auf Tertiär (nach Hugi aus Tornquist, Geologie). Vergl. untenstehendes Profil.

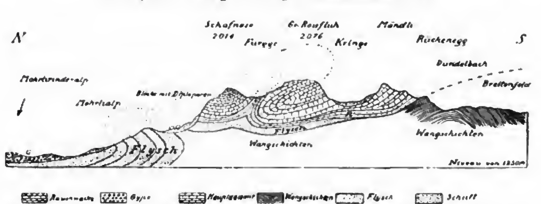


Fig. 8. Profil durch die Klippen der Giswyler Stöcke (nach Hugi aus Tornquist, Geologie). Triaskalke als tektonische Klippe auf Alt-Tertiär (Flysch) schwimmend, den Rest einer Schubdecke darstellend. Diese Triasklippe stammt aus einer Kalkdecke, die in den Ostalpen die Kalkketten der Voralpen aufbaut. Diese Kalkzone der Ostalpen war auch in der Schweiz vorhanden; ist aber erodiert worden. Die Klippen sind die letzten Reste.

treten meist in Form von Felsklippen auf, von Blöcken der verschiedensten Größe, in Reihen oder in Gruppen angeordnet. Sie erwecken frühzeitig den Eindruck von Fremdkörpern im Gebirgsleib. (Fig. 8.)

Digitized by Google

Ursprünglich dachte man sich die Klippen als echte „Inselklippen“ aus dem Flyschmeere emporragend. Man sprach von „Inselklippen“, in den Alpen als auch in den Karpathen (Neumayr). Dann erkannte man, daß „mechanische Kontakte“ mit den umgebenden „Hüllgesteinen“ vorhanden seien, und dachte sich solche Klippen von unten durch den Flysch „durchgestoßen“ (Durchstechungsklippen). Dann erkannte man, daß die Klippen nicht von unten aus der Tiefe stammen, sondern dem Untergrunde „aufsitzen“. Es waren „wurzellose“, „schwimmende“ Massen. So die Klippen der Mythen, die Klippen von Iberg. Sie waren dem unterliegenden Gebirge fremd, „exotisch“ und man leitete sie von einem versunkenen, „vindelizischen“ Gebirge ab, von dem sie (von Norden her) überschoben worden seien. Erst im Zusammenhange mit dem allgemeinen Deckenbau der Alpen wurde die wahre Abkunft der Klippen erkannt. Es sind Denudationsreste größerer Decken, die einst über den helvetischen Bergen lagen. Sie wurden erodiert. Der Zusammenhang mit der Wurzelregion hat vollständig aufgehört. So liegen diese Massen fremd über helvetischem Gebirge.

Klippen können zu zusammenhängenden Massen werden. So sind weiter nach Westen, jenseits des Tunersees, in den Freiburger Alpen die Klippen mächtig entwickelt, bilden ein ganzes Gebirgselement im alpinen Körper. Das Klippenphänomen ist eine in den verschiedenen Gebirgen häufig wiederkehrende Erscheinung (Karpathen, Kaukasus, turkestanischen Randketten, Timor).

3. Tauchdecken.

Das ist ein Strukturtypus, wie er im Orogen immer wiederkehrt. Unter hohem Druck, unter großer Belastung werden bei bedeutender Rindenversenkung mächtige Faltendecken entwickelt. Eine allgemeine Metamorphose der Schichten geht Hand in Hand.

Dieser Strukturtypus findet sich sehr schön entwickelt in den Westalpen, im Gebiet der penninischen Alpen. Man könnte diesen Typus geradezu als penninischen Typus bezeichnen. (Fig. 9, Seite 65.)

Eine Reihe von Falten liegen übereinander. Die Kerne bestehen aus Gneis, die Umhüllungen aus metamorphem Mesozoikum, den Glanz-(Bündner-)Schiefern (Schistes lustrés). Die Wurzeln der Tauchdecken, die Stirnen, die Verfaltungen, Verquetschungen der Decken sind typisch entwickelt. Das ganze Bild spricht für eine allgemeine Plastizität des Schichtkörpers zur Zeit der Entstehung dieser Strukturen. Dieses Bild kann sich nur in größerer Rindentiefe gebildet haben. Eine Richtung der Bewegung herrscht: die Bewegung nach Norden.

Digitized by Google

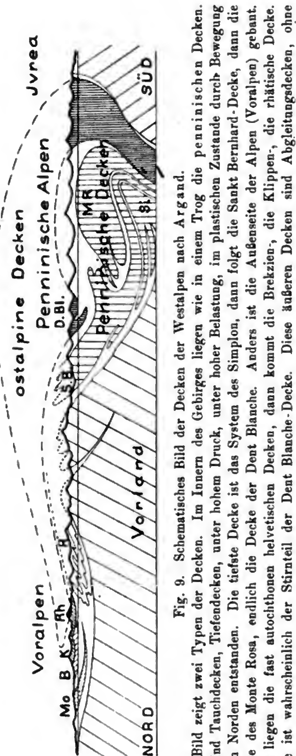


Fig. 9. Schematisches Bild der Decken der Westalpen nach Argand.
Das Bild zeigt zwei Typen der Decken. Im Innern des Gebirges liegen wie in einem Trog die penninischen Decken. Es sind Tauchdecken, Tiefendecken, unter hohem Druck, unter hoher Belastung, im plastischen Zustande durch Bewegung gegen Norden entstanden. Die tiefste Decke ist das System des Simplon, dann folgt die Sankt Bernhard-Decke, dann die Decke des Monte Rosa, endlich die Decke der Dent Blanche. Anders ist die Außenseite der Alpen (Voralpen) gebaut. Hier liegen die fast autochthonen helvetischen Decken, dann kommt die Brekzien-, die Klippen-, die rhätische Decke. Diese ist wahrscheinlich der Stirnteil der Dent Blanche-Decke. Diese äußeren Decken sind Abgleitungsdecken, ohne besondere Metamorphose. Oberflächendecken.

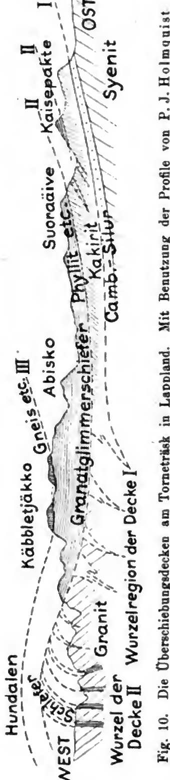


Fig. 10. Die Überschiebungsdecken am Torneträsk in Lappland. Mit Benutzung der Profile von P. J. Holmquist nach Tillmann. M. ca. 1 : 500 000. Diese Decken liegen nicht im orogenen Trog, sondern im Vorlande, ähnlich wie die Voralpen im Profil 9.

Überschiebungsstrukturen.

Wir fassen darunter Strukturtypen zusammen, die z. T. mit den Überfaltungsphänomenen genetisch zusammenhängen, indem aus Faltungen, Überfaltungen, endlich Überschiebungen werden, andererseits auch

Digitized by Google

Typen, die mit Faltungen nichts mehr zu tun haben und mit Brüchen, Abspaltungen von Rindenteilen eventuell zusammenhängen. So entstehen Überschiebungsmassen, -decken, die als selbständige tektonische Einheit über einer andern liegen, so zwar, daß die Überschiebungsmasse (meist ohne Dazwischentreten eines Liegendschenkels oder wenigstens Spuren davon) mit ihrem ältesten Gliede auf einer jüngeren Serie aufruht. Häufig sieht man solche Überschiebungsflächen von unten nach oben schief aufsteigen. Man spricht dann auch von „listrischen" Bewegungen (Suess).

Diese Überschiebungsstruktur zeigt im allgemeinen das kaledonische Gebirge Skandinaviens. Hier erscheint ein Deckenbau, der wenigstens in den äußeren Teilen, durch sehr flachliegende Überschiebungsmassen repräsentiert wird. Ein tief abgetragenes Deckengebirge wird sichtbar. Die jüngeren Horizonte fehlen im Bau der Decke. Es treten mehr Grundgebirgskörper zutage. Die Überschiebungsfläche ist belegt mit mitgeschleppten eruptiven Massen. Weitgehende mechanische Umformungen bedeutender Gesteinskörper stellen sich ein. Mylonitstrukturen (Kakirite) beherrschen die Sohlen der Schubdecken. Die Decke ist vielfach erodiert und löst sich in einzelne isolierte „Deckschollen" auf. Dazwischen treten in „Fenstern" tiefere Gebirgsteile, auch das autochthone Gebirge hervor. Die Hauptbewegungsfläche zerfällt in sekundäre Bewegungsflächen. So wird der Gesteinskörper in flache „Gleitkeile" aufgelöst. (Fig. 10, Seite 65.)

Ganz ähnliche tektonische Bilder stellen sich an der schottischen Überschiebung ein. Die Hauptschubmasse zerfällt in kleinere Schollen. Haupt- und Nebenüberschiebungsflächen stellen sich ein (mayor und minor thrusts). Faltung ist wenig erkennbar. Auf scharfen Schubbahnen schieben sich die einzelnen Schubmassen übereinander. Die Schubmassen selbst sind z. T. wieder gefaltet.

Dieser Typus der Überschiebungsmassen findet sich gern in den älteren Gebirgen. Die Überschiebungen des belgischen Kohlenreviers sind von ähnlicher Art.

Auch im moravisch-moldanubischen Überschiebungsgebiet findet sich ein derartiger Bau.

Flachliegende Überschiebungsmassen.

Ein Typus von Überschiebungen, wie er in den Kalkalpen der Ostalpen in den Kalkhochalpen vorliegt. Die großen mächtigen Kalkmassive des Schneeberges, Rax, Dachstein bilden flachliegende, horizontal geschichtete Überschiebungsschollen. Der Bau dieser Kalkberge ist ein so ruhiger, daß er geradezu als Typus ungestörter

Digitized by Google

söhliger Lagerung angesprochen werden könnte. Und doch sind die Überschiebungen rings um diese Kalkmassive mit voller Deutlichkeit aufgeschlossen.

Es sind prächtige tektonische Bilder, die sich an diese flachliegenden Überschiebungsmassen knüpfen. Mit mauergleichen Wänden erheben sich die breiten Plateaufelder über die begrünten Wellen der voralpinen Kette, ein „steinernes Meer" über grünenden Fluren. Prächtig ist der fazielle Gegensatz. Hier bis 1500 m mächtige einförmige Kalke und Dolomite der Trias, dort eine Schichtfolge aus schiefrigen und kalkigen Elementen aufgebaut. Und wie verschieden ist das tektonische Verhalten der beiden Massen. Die Kalkhochalpen bilden mächtige Kalkkörper mit scheinbar ruhiger Lagerung im Gegensatz zu den heftig bewegten Kalkvoralpen.

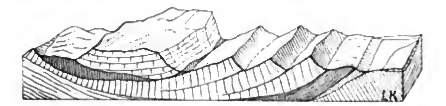


Fig. 11. Schema der Kalkalpen der östlichen Ostalpen. Zu oberst liegen flach die Plateauberge der Kalkhochalpen als wurzellose Deckschollen (hochalpine Decke). Darunter folgt die meist stark zertrümmerte Hallstätter Decke (senkrecht engschraffiert). Noch tiefer liegen die Kalkvoralpen, in (3) Schuppen zerteilt. Unter der untersten kommt auf der Nordseite die Flyschzone heraus, dann die Molasse, endlich das Grundgebirge. Im Süden bildet die Unterlage die Grauwackenzone.

Differentialbewegungen.

Wir haben eine Reihe von Differentialbewegungen kennen gelernt. Wir wollen hier der Vollständigkeit halber noch kurz ausführen. Es gibt noch Bewegungsformen, die als Differentialbewegungen innerhalb einer anderen einheitlichen Bewegungsform entstehen.

Diese Bewegungsbilder sind ganz eigenartige und charakteristische und entstehen überall dort, wo verschiedenartige Gesteine sich finden.

Der einfachste Fall ist der, daß ein mächtiges Kalkpaket von Schiefermassen unterlagert wird. Dieses Verhältnis finden wir häufig im alpinen Gebiet. In den Südalpen (Dinariden) bauen 1000—1500 m mächtige Dachsteinkalke die Ampezzaner Dolomiten. Große mächtige Wände entstehen (Antelao, Tofana). Fast horizontal, scheinbar ungestört, können wir mit freiem Auge weithin die prächtige ruhige Schichtung verfolgen. Das aus Mergeln und dünnschichtigen Kalken und Dolomiten aufgebaute Liegende zeigt aber ganz anderen Bauplan. An den Kalken des Muschelkalkes, im Werfener Schiefer kann man

Digitized by Google

häufig komplizierte Kleinfaltung beobachten, Dislokationen, Brüche, Verwerfungen verschiedenster Art durchsetzen das System. Schollen wiederholen sich. Ähnlich kompliziert ist das Verhältnis der Wengener und Kassianer Schichten. Die Kontakte gegen die Dachsteinkalkmassen sind meist abnormale. Die mächtigen Kalkmassen sinken scheinbar in die weiche Mergelunterlage ein und quetschen diese auseinander.

So scheidet sich ein tieferer komplizierter Differentialbau von dem einfacheren Bau des starren Dachsteinkalkmassives, das gleichsam das Rückgrat im Aufbau des Gebirges bildet.

Genau so wie unter dem Dachsteinkalk, so finden sich wieder in den Schichten des Jura und der Kreide kleine Differentialbewegungen, die wieder ein charakteristisches Bild geben.

Die dünnschichtigen 200—300 m grauen Kalke des Lias, dann die roten Akanthikuskalke sowie die Radiolarite des Tithon, die Neokomfleckenmergel, bilden eine Schichtserie, die im Gebiete der Fanes-, der Sellagruppe in liegende Falten geworfen sind. Diese Falten rollen gegen Süden. Die Falten gehen in Überschiebungen über.

So lassen sich drei Stockwerke der im ganzen etwa 2000 m mächtigen Schichtserie in bezug auf die Struktur unterscheiden. Unten Schuppung, Faltung, Zusammenstau, entstanden unter der mächtigen Belastung, oben freier Faltenbau von losem Gefüge. Der Hauptkörper ist der flachliegende ruhige Dachsteinkalk (Kober).

Als Differentialbewegungen können bei großen Muldenbildungen (Bildung von Geosynklinalen, Synklinorien) sekundäre Dislokationen entstehen. Abendanon führt den Bau des Roten Beckens von Szetschwan auf solche Bewegungsformen zurück. Das primäre sind Großfalten, das sekundäre sind die in der Großfalte entstehenden Nebenfalten.

Das Schema des Baues ist folgendes. Es wird eine große Mulde gebildet. In diesem Becken rutschen die Schichten infolge des eigenen Gewichtes von den aufgebogenen Rändern ab und stauen sich am Boden der Mulde.

So entstehen Faltenwellen, die sich weithin verfolgen lassen können. Sie sind aber Differentialgebilde einer regionalen Bauform, die selbst sehr einfach gebaut sein kann.

Ein weiterer Fall von Differentialbewegungen sind ekzemartige Bewegungen weicherer plastischer Gesteinsmaterialien. Diese dringen ähnlich wie Eruptivgesteine in oben liegendes starres Schichtmaterial. Dieser Typus findet sich besonders gern im Salzgebirge Norddeutschlands. Der Typus ist lange bekannt, ist von Lachmann speziell in seiner Eigenartigkeit betont worden. Es kommt ihm aber keine regionale Bedeutung zu. Es ist ein lokaler Bauplan, der sich aber oft wiederholt und in den Alpen sich wiederfindet. So dringen gern Werfener

Digitized by Google

Schichten, wie das von verschiedenen Stellen beschrieben worden ist, in Form von Schloten, gangartig, in die Dachsteinkalke ein, setzen hier hoch in die Höhe.

Ekzemartige Bewegungen gibt es in mannigfaltigen Typen. Wir wollen hier einen Typus festhalten, der verschiedenartig modifiziert werden kann. Es ist ein Salzkörper, der horstartig sich in die Höhe frißt, ähnlich wie etwa ein Batholith.

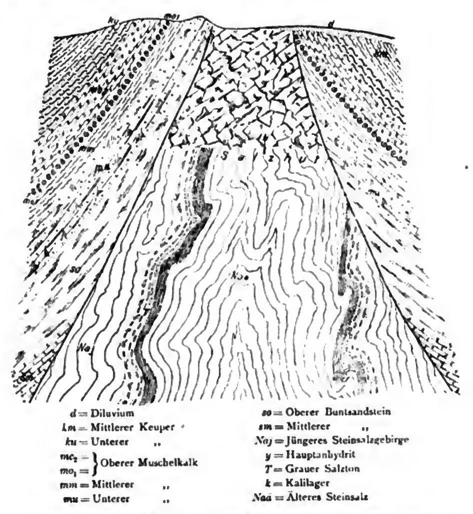


Fig. 12. Schematisches Profil durch den südlichen Teil der Asse bei Braunschweig (nach Harbart aus Tornquist, Geologie).
In der Achse des aus Triasschichten zusammengesetzten Sattels ist das plastische Zechsteinsalz emporgedrückt.

Allgemeine Deckentektonik.

Wir verfolgen die Decken in ihren Kleinformen, in Stratigraphie, Fazies und Tektonik. Wir müssen aber auch die regionalen Züge verfolgen, die Übergänge der Fazies der einen Decke in die der anderen, das tektonische Verhalten zweier oder mehrerer Decken zueinander und als Einheit.

Digitized by Google

Dann erscheinen die Decken selbst wieder als eine Einheit, die longitudinale, transversale Störungen, Brüche, Faltungen, Überschiebungen erleidet. Transversale Erhebungsachsen wechseln mit transversalen Senkungszonen, longitudinale Hebungen und Senkungen schalten sich ein. In transversalen Erhebungsachsen stellen sich gern die Fenster ein. Denn hier wird die obere Decke hoch emporgetragen und die tiefere Decke muß erscheinen. In den Senkungszonen senkt sich die oberste Decke tief ein. Die tieferen liegen hier in große Rindentiefen versenkt. Auf der Oberfläche der oberen Decke liegen größere Decken jüngerer Schichten.

Eine ganze eigene selbständige Tektonik ist diese Deckentektonik. Sie hat z. T. mit der Entstehung der Decken unmittelbar nichts zu tun. Es ist eine jüngere regionale Tektonik, als bereits der Deckenbau in dieser Gestalt vorhanden war.

Die Erhebungsachsen sind z. T. junge Aufwölbungen. Die Senkungen sind im Kampfe um den Raum entstandene Synklinalregionen. Antiklinorien, Synklinorien, mit einem Worte: Großfalten-Mechanismus nach der Deckenbildung. Er wird gern als epirogenetischer Bewegungszyklus gedeutet. Er ist es auch z. T. Der Hauptsache nach ist es die Fortführung der Gebirgsbildung, ein echter orogenetischer Prozeß. Aber er dauert noch nicht lange und darum erscheint er uns im Stadium einer epirogenetischen Bewegung.

In den Westalpen haben in letzter Zeit Argand und Staub die Deckentektonik der Westalpen vom Mittelländischen Meer bis an den Ortler aufgezeigt. Argand konnte die penninischen Decken durch die ganzen Westalpen verfolgen. Er hat dabei eine Reihe von Profilen entworfen, von denen manche bis 25 km Tiefe gehen. Argand hat in genialer Weise die Tiefentektonik der penninischen Decken klar gelegt, die einzelnen Decken in ihrem Auf- und Niederwallen durch die ganzen Westalpen verfolgt, ihre Verbreitung, ihr gegenseitiges Verhältnis dargestellt. In der Fortführung dieser Arbeiten hat R. Staub Verdienstvolles geschaffen. Er erweiterte die Argandsche Deckentektonik nach Osten, konnte ihre Parallelisierung mit den Decken des Westens durchführen und das ganze bisher so wenig bekannte südliche Grenzgebiet zwischen Ost- und Westalpen aufhellen.

Staub zeigte, wie die obersten penninischen Decken nach Osten hin unter die unterostalpinen Decken untertauchen, diese wieder unter die oberostalpinen.

Ein wichtiges Requisit dieser Deckentektonik ist das Längsprofil. Bisher glaubte man den Bau mit dem Querprofil erschöpfend darstellen zu können. Das ist aber absolut nicht der Fall. Das Längsprofil gibt Aufschluß über die Deckentektonik im Streichen des

Digitized by Google

Gebirges. In den Längsprofilen sehen wir die transversalen Mulden und Sättel am klarsten (Erhebungsachsen, Joch im Fenster).

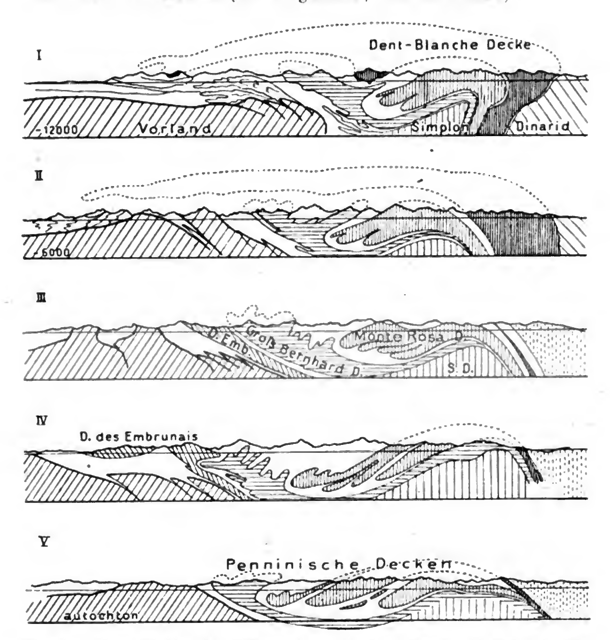


Fig. 13. Schema der Tektonik der Westalpen nach Argand, besonders die Tiefentektonik der penninischen Region zeigend. Die penninischen Decken sind: Die Simplon-, die Sankt Bernhard-, die Monte Rosa-Decke. Die Dent Blanche-Decke ist bereits ostalpin, die Decke des Embrunais dagegen helvetisch. Die Profile zeigen das Auf- und Absteigen der eigentlichen penninischen Decken, dann die Mächtigkeitsschwankungen, dann die Art des Fallens usw. Auch die Tektonik des Vorlandes tritt schön hervor. Die Profile gehen bis in die Tiefe von 12 km. An der Decke des Monte Rosa läßt sich die regionale Tektonik besonders deutlich verfolgen.

Verfaltung der Decken.

Zwei oder mehrere Decken liegen nicht flach übereinander, sondern können gefaltet sein. Geht die Faltung noch weiter, so kann es zu

Digitized by Google

einer Verfaltung der Decken kommen. Eine Decke wird von einer anderen umhüllt, so wie wenn sie ein jüngeres Schichtglied dieser „eingewickelten“ Decke wäre. Diese „Einwicklung“ von Decken wird immer deutlicher, verständlicher und gibt uns einen tieferen Einblick in die Genetik der Gebirge, bezw. der Deckenbildung. Wir erklären das Phänomen der Einwicklung der Decken so, daß wir uns vorstellen, eine vorhandene Decke wird von einer zweiten überfahren. In einem späteren Akt der Gebirgsbildung wandern beide Decken zusammen, wie eine Einheit, weiter. Die untere Decke bildet dann den Kern, die obere die Umhüllung. Diese Einwicklung kann weit ab von der eigentlichen Wurzelregion der beiden Decken stattfinden. Durch die Einwicklung der Decken entstehen aber sekundäre (Einwicklungs)-Wurzeln. (Siehe Profil 5 Seite 61.)

Deckengenetik.

Decken bilden sich in der Tiefe unter hoher Belastung. Sie bilden sich auch an der Oberfläche. Hier sind sie meist Abgleitungsphänomene. Decken können aus der Auspressung von Synklinalregionen hervorgehen. In dem Falle haben sie eine Wurzel. Abgleitungsdecken haben keine Wurzel im eigentlichen Sinne. Sie sind ja nur von größeren Deckenkörpern abgerutschte, abgerissene Sedimenthüllen. Auf diese Weise entstehen Gleitdecken (Abscherungsdecken), die eine große Rolle spielen. Die (äußeren) Decken am Rande der Alpen sind der Hauptsache nach solche Abscherungsdecken. Sie haben kein Grundgebirge, sind gewissermaßen angehäufte Stirnregionen verschiedener Decken. Decken entstehen submarin, z. T. auf dem festen Lande (Inselkränzen). Gleitdecken entstehen durch Abgleiten in die Vortiefen. Tauchdecken können in der Tiefe wandernder Decken entstehen. Decken entstehen nacheinander. Zuerst die höchsten, obersten. Sie gehen aus Großfalten der Erdrinde im Orogen hervor, z. B. die ostalpine Decke. Sie beginnt bereits vor der Ablagerung der Gosau zu wandern. Auf ihrem Marsche nach Norden schiebt sie große Teile des Untergrundes vor sich her, überfaltet ihn, geht über ihn hinweg. Dann entstehen neue Decken in der Tiefe unter der ostalpinen. Phasen der Ruhe wechseln mit schnellerer Wanderung. Nach dem Miozän wird die Flyschzone, dann die Molasse noch in die Bewegung einbezogen. Die ostalpine Decke nähert sich immer mehr mit ihren Stirnteilen dem böhmischen Massiv.

Begleiterscheinungen.

Mit der Deckenbildung gehen eine Reihe von Begleiterscheinungen Hand in Hand. Es ist das Phänomen der Brekzien, der Blockbildung. Schon im Oberjura erscheinen in echten Radiolariten an vielen Orten feine Brekzien. Sie wurden gern als Gegenbeweis für die

Digitized by Google

Abyssitnatur der Radiolarite erklärt. Ich habe sie in Verbindung mit submarinen Dislokationen gebracht. Sie sind gleichsam feine Schutthalden an submarinen Brüchen, in gewissem Sinne also tektonischer Natur. (Submarin zementierte tektonische Brekzien.) Wir finden die Erscheinung auch in vielen anderen Sedimenten. So trifft man diese „primären" Brekzien häufig im Hallstätter Marmor. Im Oberjura könnten diese Brekzien mit der beginnenden Gebirgsbildung in Zusammenhang gebracht werden. Im Oberjura treten ja auch die ersten grünen Gesteine auf. Die Brekzienbildung nimmt in der Gosau große Dimensionen an. In Tirol hat Ampferer in der Gosau hausgroße Blöcke beschrieben. Das zenomane Bučeckonglomerat ist gleichsam der zementierte Deckenschotter, entstanden durch vorrückende Decken, deren Stirnteile als Schutthalden in die Vortiefe hinüber kollerten. Im Flysch finden sich ebenfalls häufig „exotische Blöcke". Sie sind nicht immer überschobene Massen. Viel häufiger handelt es sich um echte submarine Abgleitungen in das vorliegende Flyschmeer (Abgleitungen von Inselketten) mit nachfolgender sedimentärer Einbettung in die Flyschgesteine. Das Blockphänomen wiederholt sich fortwährend durch das Vorrücken in die Vortiefen. Im Miozän tritt es wieder auf. Die „exotische Molasse" der Schweiz besteht aus Gesteinen, die im anstehenden helvetischen Gebirge fehlen. Die Blöcke stammen von den höheren Decken, die zur Zeit der Molassebildung über die helvetischen hinweg wanderten und sie bedeckten. So wanderten die vorrückenden höheren Decken an das Molasseufer, überschütteten den Strand mit ihren (exotischen) Blöcken, Geröllen, während die helvetischen Gesteine unter diesen Decken in der Tiefe lagen.

Das Blockphänomen findet sich in vielen Gebirgen in ganz gesetzmäßiger Weise.

Die Fazies der Decken.

Die Erfahrungen zeigen, daß die Fazies der Decken im allgemeinen konstant ist. Differenzierungen sind zweifellos vorhanden. Aber sie sind nicht so groß, daß die Fazies für die Decke keine Bedeutung hätte. Im Gegenteil sprechen die meisten Forscher entschieden für eine Konstanz der Fazies in der Decke.

Je größer die Decke ist, desto freier müssen wir auch den Begriff der Fazies nehmen. Die helvetische Decke steht mit ihrer Fazies im schärfsten Gegensatz zur penninischen oder zur ostalpinen. Aber in sich ist die helvetische Fazies genau so wie die ostalpine wieder relativ reich gegliedert. Und doch zeigen die helvetischen wie die ostalpinen Decken in sich eine bestimmte Faziesführung.

Diese Tatsache besteht zweifellos und sie ist ein Mittel zur Auflösung des Geosynklinalgebietes. Wir verfolgen die Faziesreihen der


Digitized by Google

Decken quer auf das Gebirge und im Streichen. Wir beobachten die Veränderungen in beiden Richtungen: wir erhalten die primären Faziesgebiete. Die heutigen Deckenreste sind nicht immer Ausschnitte aus einem reinen Faziesgebiet. Häufig finden wir in den Decken Schnitte aus Übergangsgebieten. Solche Decken vermitteln in der Fazies.

Die Mächtigkeit der Decken.

Wo wir immer Deckenstrukturen studieren können, zeigt es sich, daß wir die großen Deckeneinheiten immer in kleinere Teildecken zerlegen können. Dies ist sehr interessant und zeigt vor allem, daß die Bewegung der Decken sich aus einer großen Zahl von Teilbewegungen zusammensetzt. Es gibt, soweit die Erfahrung reicht, keine Bewegung großer Deckenkörper als einheitliche geschlossene Masse.

Die helvetischen Decken sind in eine Reihe Teildecken gegliedert, genau so auch die penninischen und die ostalpinen Decken. Gerade diese sind außerordentlich mächtige Deckenmassen, Decken erster Ordnung.

Wo große Mächtigkeiten vorliegen, ist stets Vorsicht am Platze. Mächtige scheinbar ruhig gelagerte Schichtmassen erweisen sich häufig als Deckenpakete, als liegende Falten. Große Überschiebungskörper sind stets aufzulösen.

Dabei zeigt es sich, daß der Aufbau in der Regel auf regelmäßig übereinander rollende Falten zurückzuführen ist.

Morphologie der Decken.

Liegen zwei Decken mit sehr verschiedener Fazies übereinander, so wird auch die Morphologie der Decken eine recht verschiedene sein. Dies liegt in der Verschiedenheit des Materials, in der Verschiedenheit des Baues und, wenn die Decken direkt übereinander liegen, in dem Höhenunterschied. Bildet die obere Decke nur „Klippen“ auf der tieferen, so entsteht ein ganz eigenartiger Landschaftstypus, der in den alpinen Zonen in Europa und in Asien in der gleichen Weise wiederkehrt.

Unsere Alpen sind reich an Beispielen der Abhängigkeit der Oberflächenform vom Deckenbau. Der auffallende Gegensatz der Kalkvoralpen und Kalkhochalpen, der Kalkzone zur Flyschzone, zur Grauwackenszone beruht auf der Verschiedenartigkeit des Materials dieser einzelnen Decken. Wo mehrere verschiedenartige Deckenkomplexe aneinander stoßen, oder sich überlagern, entstehen reizvolle tektonische und morphologische Bilder.

Metamorphose der Decken.

Diese richtet sich im allgemeinen nach der tektonischen Position der Decken im Gebirgskörper. Je tiefer eine Decke liegt, desto größer

Digitized by Google

wird die allgemeine Metamorphose sein. Die tief eingeschlossenen Decken zeigen die tiefste Metamorphose, die während der Gebirgsbildung einem Gesteinskörper aufgeprägt werden konnte. (Fig. 14.)

Dabei ist vor allem festzuhalten, daß durch gebirgsbildende Vorgänge Gesteinsmassen mit größerer Metamorphose über solche mit geringerer hinweggeschoben werden können. So zeigen die ostalpinen Glimmerschiefer-Gneise eine höhere Metamorphose in gewissen Gliedern als die darunter liegenden penninischen Decken. Der höhere Grad der



Fig. 14. Die liegenden Falten von Triasdolomit, Pyritschiefer mit Jurakalk an der Sichelwand in den Radstätter Tauern. Photogr. von W. Schmidt. Eng gepreßte nordgetriebene liegende Falten mit mittlerer Metamorphose der Gesteine.

Umformung mancher Gesteine etwa der ostalpinen Decken ist aber älter als der Deckenbau der Alpen.

Wenn wir von diesen Fällen absehen, erkennen wir von der Tiefe zur Oberfläche eine stetige Reihe in der Metamorphose, der tektonischen Deformierung der Art, daß in der Tiefe molekulare Umformung, in der Mitte mechanische Deformation, an der Oberfläche geringe tektonische Beeinflussung zu erkennen ist. (Fig. 15, 16.)

Das Material, die Tiefe, dann die Bewegungsart ist dabei von Einfluß. Die allgemeine Tiefen-(regionale) Metamorphose und die spezielle

Digitized by Google

Dislokationsmetamorphose sind zu scheiden. Jeder Stufe des Gebirgskörpers kommt eine bestimmte tektonische Fazies zu.

Plastizität ist die tektonische Fazies der Tiefe. Rupturelle Deformation gehört einer oberen Stufe an. Hier finden sich gern eigentümliche Scheiterstrukturen, wie z. B. in den Klammkalken der unter-



Fig. 15. Die Klammkalke der Klamm bei Lend an der Straße nach Hofgastein. Photogr. von V. Uhlig. Mesozoische Kalke der tieferen Tauerndecke. Metamorphose aus der mittleren Lage des Ostalpenkörpers. Starke mechanische Deformation. Scheiterstruktur. Die molekulare Umformung allmählich zurücktretend.

ostalpinen Decke der Ostalpen. Von der Tiefe führen alle Übergänge zur Oberfläche.

Eruptiva der Decken.

In vielen Fällen zeigen sich eigentümliche „Symbiosen" von Eruptivgesteinen mit gewissen Decken.

Digitized by Google

Die Flyschfazies (Flyschdecken am Außensaume der alpinen Ketten) sind so häufig mit „grünen Gesteinen“ verbunden. Die penninischen Decken führen ebenfalls ausschließlich grüne Gesteine.

In andern Fällen zeigen sich die basalen Teile der Decken mit „grünen Gesteinen“ gleichsam gepflastert. Besonders in tief abgetragenen



Fig. 16. Scheiterstruktur aus den penninischen Gneisen südlich von Airolo. Bei hoher molekularer Deformation (Umkristallisation) weitgehende mechanische Auflösung des (Granit-) Gneiskörpers in unzählige kleine Schollen (Schuppen). Photogr. von L. Kober.

paläozoischen Ketten kennt man die Erscheinung der eruptiven Grundschollen an der Überschiebungsfläche, z. B. bei der skandinavischen Überschiebung.

Es sind immer pazifische Gesteine, die sich an Überschiebungslinien finden.

Digitized by Google

IV. Gebirgsbildung.

Allgemeines.

Schon im Kapitel über die Bewegungen konnten die Schwierigkeiten beleuchtet werden, die mit dem Bewegungsphänomen der Erde verbunden sind. Die Gebirgsformen der Erde, wenigstens die echten Gebirge der Erde, die durch größere Dislokationsprozesse der Erde entstanden sind (Dislokationsgebirge), und die ja den überwiegenden Teil der Gebirge der Erde ausmachen, sind ihrer Genetik nach im einzelnen wieder so verschieden gebaut, so mannigfaltig in den Strukturformen, in den Dislokationsmassen und -Maßen, daß auch hier sich eine Reihe von Vorstellungen über die Entstehung der Gebirge gebildet hat, die z. T. aus lokalen Verhältnissen geboren, diesen ganz gut gerecht werden konnten. In andern Fällen lagen anders geartete Verhältnisse vor und der Erklärungsversuch, der für das eine Gebirge zutreffen konnte, galt nicht für den zweiten Fall.

So entstanden im Laufe der Zeit eine Reihe von Erklärungsversuchen der Gebirge, die mit dem Fortschreiten der Wissenschaft immer wieder verbessert werden mußten. Es ist eine lange Reihe von Lösungsversuchen, die wir hier nicht alle festhalten wollen. Hier sollen nur einzelne Stadien der Erkenntnis aufgezeichnet werden. Steno hatte schon die Entstehung der Gebirge durch Zusammenstau von Schichten im allgemeinen erkannt. Diese wichtige Erkenntnis blieb aber lange Zeit unbeachtet und zu Werners Zeiten machte man sich nicht viele Gedanken über die Entstehung der Gebirge. Füchsel und Lehmann schufen eine tektonische Nomenklatur. Saussure erkannte frühzeitig bei seinen Studien in den Alpen die Bedeutung zusammengestauter und gefalteter Schichten in den Alpen. E. de Beaumont sprach 1821 die Gebirge als eine Folge der Kontraktion der Erde an. Diese Erkenntnis hat ebenfalls nicht Beifall gefunden und es hat lange Zeit gedauert, bis der Gedanke Beaumonts wieder Boden gefaßt hat. Er wurde verdrängt durch die Erhebungstheorie von L. v. Buch, die an die sogenannten „Zentralachsen" der Gebirge anknüpfte und die in diesen vulkanischen Massen die Ursachen der Erhebung, der Entstehung der Gebirge sah. E. de Beaumont knüpfte auch an eine wichtige Erkenntnis von L. v. Buch an, der frühzeitig in Deutschland eine Reihe von Gebirgssystemen unterschied; und auf dieser Gliederung fußte der Versuch E. de Beaumonts, in den Gebirgen eine geometrische Größe, die ihre Entstehung bedingen sollten, zu

Digitized by Google

erkennen. So sollten parallele Gebirgszüge von gleichem Alter sein. Beaumont kam dazu, eine ganze Reihe solcher „Systeme“ zu unterscheiden.

Immer mehr und mehr wurde durch das Studium der Alpen, des Jura, der Appalachen, die Entstehung der Gebirge durch tangentiale Bewegungen festgelegt. So waren durch die Untersuchungen, im besonderen von Studer, Escher, Baltzer, Heim, durch Rogers, durch E. Suess die Grundlagen des Gebirgsbaues gewonnen worden. Die Anschauungen von Suess, die ganz und gar in der Kontraktionstheorie wurzeln, führten zur Erkenntnis der Bedeutung des einseitigen Schubes, einer Lehre, die bis in die Gegenwart herein beim großen Teile der Forscher Anklang gefunden hat, und die in der letzten Zeit in der Lehre vom Deckenbau der Alpen, einen extremen, aber vollständig berechtigten Ausdruck gefunden hat.

Suess Anschauungen und die Deckenlehre haben eine Erweiterung, Vertiefung unserer Vorstellungen über den Bau der Gebirge gebracht. Aber je mehr man den Bau der Alpen erkannte, desto schärfer traten einige Erscheinungen zutage, die nicht mehr mit der Lehre von Suess in Einklang gebracht werden konnten. Das waren die Südbewegungen der südlichen Kalkalpen und Suess mußte seine Vorstellungen korrigieren und die Südalpen als eigenes südbewegtes Gebirge, als Dinariden von den Nordalpen, den Ostalpen abtrennen.

Diese Trennung eines scheinbar einheitlichen Gebirges in zwei einander fremde Gebirge ist vielfach mißverständlich gedeutet und damit in ihrer Bedeutung verkannt worden. Und doch liegt in dieser Trennung der Alpen, in Dinariden und Alpiden im Sinne von Suess, der Keim zu einer neuen Auffassung der Entstehung der Gebirge. In der Verfolgung der Suess'schen Ideen konnte ich zeigen, daß diese Zweigliederung sich durch das ganze alpine System des Mittelmeeres verfolgen läßt. Man kommt so zur Erkenntnis einer höheren Einheit der Gebirgszone der Erde.

Was man bisher versucht hat, war die lokale Erklärung der Gebirge. So wurde am Harz wiederholt das Phänomen der Gebirgsbildung erläutert, oder es wurde wieder an den Pyrenäen, an den Alpen, an den Appalachen darzulegen versucht. Verschiedene Typen wurden so gefunden, gewisse einheitliche Gesichtspunkte ergaben sich, die besonders Suess zusammengefaßt hat.

Aber wir können z. B. die Ostalpen nicht verstehen, wenn wir die Genetik der Dinariden nicht kennen. Jedes dieser Gebirge für sich ist ein Teil einer höheren Einheit, der orogenetischen Zone, und erst aus der Genetik der Orogene lernen wir die Genetik der Teile derselben.

Digitized by Google

So wurde ich dazu geführt, die Gebirgsbildung im Rahmen der Orogene zu betrachten, in der Überzeugung, daß sich nur im Rahmen des ganzen diese Teile verstehen lassen, und die Genetik der Orogene wird sich erst wieder aus der Analyse des Baues der Erde vervollständigen können.

Von diesen Überlegungen aus ist es klar, daß die Gebirgsbildung als lokales Phänomen aufgefaßt, lokale Erklärung umgeben konnte, die für die allgemeine Orogengenetik unbefriedigend waren.

Können wir so die Gebirgsbildung im großen nur in der Genetik der Orogene erfassen, so wird es doch wieder zweckmäßig sein, bevor wir auf diese eingehen, die lokale Gebirgsbildung darzulegen, dann erst die regionale.

Gliederung der Gebirge.

Vom geologischen Standpunkte müssen wir die Gebirge nach dem Grade der Dislokation einteilen. Der Gesamtcharakter muß beurteilt werden. Wir sehen, daß in dem einen Falle große Überschiebungen in einer gewissen Einheitlichkeit erfolgt sind und zur Entstehung der Gebirge geführt haben. Das ist ein Deckengebirge.

In einem andern Falle finden wir ein einfaches Faltenbild im Gebirge. Es ist ein Faltengebirge.

Dann wieder finden wir Horste, Schollen, aus einer alten Peneplain herausgehoben. Der Hauptsache nach war die Ursache der Gebirgsbildung die Heraushebung. So entsteht ein Schollen-, Horstgebirge.

Das sind die echten Gebirge (Dislokationsgebirge). Sie erscheinen morphologisch als Ketten-, Falten- und Schollengebirge.

Dann wollen wir noch Gebirge angliedern, die nicht mehr recht zu den echten Gebirgen gezählt werden können. Es sind morphologische Hochformen des Bodens, Berge, Bergzüge, Gebirge, die mehr durch die Erosion entstanden sind. Diese selbst ist wieder in vielen Fällen nur die Folge einer weiteren Aufwölbung des Landes oder einer Schiefstellung einer Tafel. Auch können Brüche eine gewisse Rolle spielen. Dies sind einfache Bruchgebirge und Erosionsgebirge.

Am wenigstens enspricht der geologischen Vorstellung das vulkanische Gebirge.

1. Die vukanischen Gebirge.

Die vulkanischen Gebirge verdanken ihre Entstehung vulkanischen Erscheinungen. Sie haben mit tektonischen Phänomenen nichts zu tun, höchstens, daß die die vulkanischen Gebirge schaffenden vulkanischen Ausbrüche an Spalten, Brüchen oder in Gräben liegen. Sie sind also keine Gebirge im tektonischen Sinne, sondern nur im morphologischen, indem

Digitized by Google

die vulkanischen Gebirge in der Form von Vulkanen und eruptiven Strömen, Lagern und Decken als Berge oder als Gebirge erscheinen können.

Die vulkanischen Gebirge bestehen also nur aus mehr oder weniger flachliegendem vulkanischen Material und verdanken der Förderung dieses Materiales auch ihre Entstehung. Die Entstehung des Gebirges und die Entstehung des gebirgsbildenden Gesteins fallen zeitlich zusammen.

Hierher können wir vor allem als Typus die großen innerafrikanischen Vulkane stellen, die sich im Bereiche der großen Grabenreihe in genetischem Zusammenhange mit ihr gebildet haben. Sie sitzen als riesige Vulkankegel der flachen afrikanischen Tafel auf, mehr oder weniger reihenförmig angeordnet.

In diesem Typus sind die großen Vulkankegel das charakteristische, Lavafelder treten zurück. In einem anderen Falle wieder treten die Vulkane zurück und weitausgedehnte Lavadecken formen ein Gebirge. Dies ist z. B. im Hochlande von Abessinien, oder in Arabien, in der Harra, der Fall.

Die vulkanischen Gebirge treten mehr in Tafelländern morphologisch in Erscheinung, in den Zonen echter Gebirge, z. B. den Anden gehen sie in den Hochformen des Gebirges gleichsam unter. Im allgemeinen spielen die vulkanischen Gebirge als selbständige morphologische Einheiten im Aufbau der Erde eine untergeordnete Rolle.

2. Die Erosionsgebirge.

Wir verstehen darunter Berge und Gebirge, die aus der Zerstückelung einer flachliegenden oder auch gefalteten Sedimentdecke und der Auflösung derselben durch die Erosion in einzelne getrennte Schollen, Stöcke oder Pfeiler entstanden sind. Auch dieser Gebirgstypus ist kein tektonisches Gebirge, indem Dislokationen als unmittelbare Ursache der „Gebirgsbildung“ fehlen oder nur in ganz geringem Ausmaße in Form unbedeutender Störungen (Brüche) vorkommen. Das Gebirge verdankt der Hauptsache nach erosiven Vorgängen seine Entstehung.

Die Erosionsgebirge stellen die häufigsten Gebirgsformen des Tafel- und Schollenlandes dar. Musterbeispiele der Erosions- bezw. Denudationsgebirge sind die Zeugen- und Inselberglandschaften der Wüstengebirge in Afrika, Arabien.

Auch die Erosionsgebirge sind untergeordnete Gebirgsformen.

3. Bruchgebirge.

Als Bruchgebirge werden Gebirge bezeichnet, die dadurch entstehen, daß eine mehr oder weniger flachliegende Sedimenttafel durch beträchtliche Verwerfung zerschnitten wird. Längs des Bruches entsteht



eine orographisch markant hervortretende Bruchstufe. Solche Stufen können bedeutende Höhen, 1000—2000 m, erreichen und scheiden so scharf eine Tiefscholle von der Hochscholle. Diese wird im Laufe der Zeit durch die rückwärts schreitende Erosion zerschnitten, und so entstehen beträchtliche Bergformen und Gebirgszüge.

Solche Gebirge sind im Grunde einseitig geneigte Tafeln, die, von der Bruchseite gesehen, den Eindruck eines Gebirges machen, auf der Höhe der Tafel aber den ursprünglichen Charakter treu bewahren und von oben gesehen den Tafelbau klar erkennen lassen.

Morphologisch sind diese Gebirge wie die Erosionsgebirge durch die über sie hinweggehende Einebungsfläche, aus der sie herausgesägt worden sind, gekennzeichnet.

Ein Beispiel eines Bruchgebirges wäre vielleicht das Küstengebirge Arabiens, das vom Golf von Akaba längs des Roten Meeres weit hin zu verfolgen ist. Der Steilabfall auf die vorliegende Küstenebene der Tihama wird im nördlichen Teil bis 1000 m hoch und erweckt den Eindruck eines stattlichen Gebirges. Kühne Gipfelformen sind aus dem Granit herausgeschnitten. Hat man aber die Höhe erstiegen, so zeigt der Blick gegen Osten, die typische Zeugenberglandschaft des (nubischen) Wüstensandsteines.

Ein ähnliches Bruchgebirge, aber doch schon komplizierter gebaut, ist etwa der Gebirgsrand, mit dem das hochgelegene Koloradoplateau gegen die Niederungen im Süden und Osten abfällt.

Bruchgebirge in diesem Sinne haben schon mehr Bedeutung und führen in Übergängen zu der nächsten Gruppe von Gebirgen.

4. Die Horst- (Schollen-) gebirge.

Sie haben im Aufbau der Erde große Bedeutung und bilden Gebirgszüge, die im morphologischen Bilde an Kettengebirge anklingen. In den meisten Fällen handelt es sich doch um mehr lokale Horste und Schollen, unregelmäßig, mosaikartig zusammengestellt. Eine scharfe Streichrichtung muß nicht immer zu erkennen sein. Wo sie aber vorhanden ist, und wo sich mehrere solche Blöcke, Schollen aneinanderlegen, durch Becken, Gräben voneinander getrennt, da entstehen Gebirgszüge, die, wenn sie regionale Bedeutung erlangen, an Kettengebirge erinnern, wie etwa die alten Schollen-(Horst)gebirge Zentralasiens, Tianschan, Altai u. a. Einzelschollen bilden mehr die Schollen des Harzes, des Schwarzwaldes, der Vogesen.

Alle diese Bauten sind charakterisiert dadurch, daß sie aus einer Verebnungsfläche herausgeschnitten worden sind. Diese Verebnungsfläche ist in den meisten Fällen scharf zu erkennen, so im Harz, Schwarz-

Digitized by Google

wald, Böhmerwald, genau so in allen Schollengebirgen Zentralasiens, vom Tianschan bis zum Baikalsee.

Gerade hier sind die Schollen durch tiefliegende Becken und Furchen getrennt. Die Schollenwand ist in vielen Fällen ungemein schön erhalten. Auch die Verebnungsflächen sind in allen Gebirgen vom Baikalsee bis zum Tianschan zu verfolgen. Eine Reihe von Forschern haben diese Erscheinungen beschrieben, so Obrutschew, Muschketow, Groeber, Merzbacher, Leuchs, Friedrichsen, Machatschek. Obrutschew hat schon die Grundformel des Baues erfaßt. Es handelt sich um mehr oder weniger O.-W. streichende Verwerfer, an denen die Hoch- und Tiefschollen entstehen. Manche der letzteren liegen sehr tief, so der Graben von Turfan bis — 102 m. Die Hochschollen steigen im Tianschan auf 7000 m. Die Schollen sind aus einem älteren Faltengebirge herausgeschnitten worden, z. T. unabhängig vom inneren Bau. Eine (mesozoische) Verebnungsfläche ist ehemals über alle diese Teile hinweggegangen. Sie war ein Teil einer großen Ebene, eines Tafellandes, dem heute noch die kirgisische Steppe angehört. Während diese aber den Tafelbau bewahrt hat, sind die östlichen Nachbargebiete in ein Schollenland umgewandelt worden. Die Umwandlung ist jung. Wieder handelt es sich bei der Entstehung des Schollenfeldes um eine kontraktive Undulation, verbunden mit Brüchen. Überschiebungen, Bildung von Gräben, Becken, Schollen. Vulkanische Erscheinungen gehen mit. Große Überschiebungen fehlen vollständig, ebenso bestimmte Überschiebungsrichtungen. Die emporgetragenen Schollen quellen über die Becken, so z. B. der Tianschan über das Becken des Tarim.

Das feinere Bild des Innenbaues der Schollen ist noch wenig bekannt. Er ist nicht die Folge der jüngeren Dislokationen. Mit diesen hat er gar nichts zu tun. Er ist älter und im Paläozoikum entstanden. In ihrem inneren Bau nach sind diese Schollen Paläoiden. Sie wurden im Mesozoikum verebnet und erst in jüngerer Zeit wieder neu belebt. Es sind, wie wir hier sagen, Neopaläiden-Horste, d. h. echte Abkömmlinge paläozoischer Orogene, mit allen Merkmalen orogenen Baues, mit reichen paläozoischen Faziesdifferenzierungen, wahrscheinlich auch mit Deckenbau.

Das Bild, das wir hier in groben Zügen von den Neopaläiden Zentralasiens zu entwerfen suchten, gilt im Prinzip für alle Horste gleicher Abstammung, so für die Appalachen, Alleghanies, für die paläozoischen Gebirge Englands, Schottlands, der skandinavischen Halbinsel, für den Ural und für die Schollengebirge der alten paläozoischen Hochalpen Mitteleuropas, vom Zentralplateau angefangen bis zum Böhmerwald. Solche Horstgebirge können auch aus den Proteroiden, aus den Archäiden herausgeschnitten werden. Dies ist sehr leicht kenntlich dadurch, daß eben nur altes Grundgebirge vorhanden sein kann.

Digitized by Google

Damit dürfte Bau und Entwicklungsgeschichte der Schollen- (Horst-) gebirge im allgemeinen genügend charakterisiert worden sein. Es mag nur noch als allgemeines genetisches Phänomen angeführt werden, daß gegenüber dem mittleren Landniveau der Kontinentalmassen (800 m), das die großen Felder umfaßt, die Horste offenbar gehoben sind, daß sie Ausweichungen darstellen nach oben, daß das allgemeine genetische Bild das von Überquellungen ist, wie das Andrée erkannt hat. Immer wird das tiefere Becken in Gefahr kommen, überschoben zu werden im Kampfe um den Raum. Die Scholle wird hinausgedrängt und quillt über das vorliegende Becken mit seinem Rande. So entstehen randliche Überschiebungen, die Lausitzer Überschiebung richtet sich auf die Südseite der Sudeten nach Süden, der Böhmerwald schiebt sich gegen Südwesten über die Kreide. Der Harz schiebt sich wieder auf der Nordseite über Kreide, der Tianschan schiebt sich auf seiner Südseite randlich auf das Becken des Tarim, während in der Umrandung des Baikalsees die Schollen über das Amphitheater von Irkutsk nach Norden überquellen.

Es ist ein lokales Überquellen, als solches gewiß eine typische und allgemeine Erscheinung von bestimmter Gesetzmäßigkeit, aber es sind keine alpinen Überschiebungen oder Decken mit einheitlichen Bewegungstendenzen, wie sie etwa im Deckenbau der Alpen zutage treten.

An die Horstgebirge knüpfen sich häufig vulkanische Phänomene, und zwar sind es fast immer die atlantischen Magmen, die an den disjunktiven Dislokationen des Schollengebirges aufquellen.

5. Faltengebirge.

Es sind Gebirge, in denen vor allem die Faltung klar im Bau zum Ausdruck kommt. Das Juragebirge ist geradezu der klassische Vertreter des Faltengebirges. Ein anderer Vertreter wären etwa die Faltenwellen des Libanon und Antilibanon. Merkwürdig ist hier übrigens auch die weitere Übereinstimmung im allgemeinen Bau, die im folgenden kurz geschildert wird.

Jura und Libanon sind gleichsam Spiegelbilder. Im Norden folgt auf die Alpen die Molassezone, dann die Falten des Jura. Diese stauen sich am Schwarzwald. Dann stellt sich fast senkrecht auf die Faltenbündel des Jura der Rheingraben ein. Er dringt aber nicht in das Gebiet der Falten vor. Den Graben begleiten vulkanische Ergüsse. (Kaiserstuhl.)

Auf der Südseite der Tauruskketten folgt eine breite Miozänzone, der Molasse entsprechend, dann die Falten des Libanon und Antilibanon. Sie raffen sich gegen den Hermon zu, stauen sich dann an einer Linie bei Damaskus, schlagen hier in kleinen Wellen über die Damaszene, vor ihnen liegen die vulkanischen Massen des Hauran. Vor den Faltenwellen zersplittert der syrische Graben, der von Süden herkommt. (Fig. 17 und 18.)

Digitized by Google

Das Gebirge selbst besteht aus leichten Falten, die zu kleinen Überfalten werden. Die Faltentektonik spiegelt sich in beiden Fällen in der Morphologie wieder. Die Bika ist ein typisches Synklinaltal. Der Libanon ist im großen eine Antiklinale, so wie im Jura oft der Antiklinale die Kette, der Synklinale das Tal entspricht.

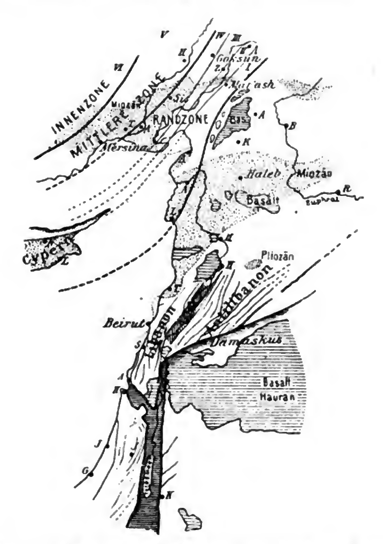


Fig. 17. Die Strukturlinien Syriens und des Taurus. (L. Kober.)

Buxtorf hat den Schweizer Jura als Abscherungsdecke aufgefaßt. Ähnlich zeigt sich auch im libanotischen System auf der Außenseite ein gewisses Ablösen vom Untergrunde. Diese Faltenwellen sind nur Ausläufer alpiner Wellen, die weit in das Vorland vorgetragen worden sind. Sie hängen offenbar mit der Bildung der tiefen Molassezone, vielleicht sogar mit der Grabenbildung trotz des verschiedenen Baubildes genetisch zusammen.

Jedenfalls ist die Übereinstimmung im Bau eine recht auffallende.

Auch diese Faltenwellen sind sehr jugendlichen Datums; so der Libanon altdiluvial. Die Fastebenen z. T. recht gut erhalten. Wo

Digitized by Google

die Faltung nicht eingetreten ist, liegen sie in ihrer Reinheit vor, wie etwa im Tafeljura (Brückner).

Ähnliche kleine Vorposten der großen alpinen Wellen sind die Salt Range u. a. In den Tafeln sind Faltengebirge selten. Die Faltengebirge knüpfen sich auch an die Kettengebirge, als deren auslaufende Wellen sie erscheinen.

Wir haben diese Gebirge hier Faltengebirge genannt, und glauben damit Klarheit zu schaffen und alle komplizierter gebauten Gebirge mit Deckenbau, mit Überschiebungsbau, kurz als Deckengebirge zu bezeichnen, die wir nun näher in Bau und Genetik und ihren Begleiterscheinungen im folgenden an typischen Beispielen erörtern wollen.

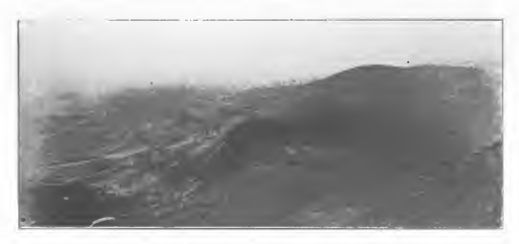


Fig. 18. Der Abfall des Antilibanon gegen die Damaszene.
Der Antilibanon tritt in kleinen überstürzten Faltenwellen über die Damaszene.
LK = Libanonkalk, *KM* = senone Kreide, Mergel. Photogr. von L. Kober.

6. Deckengebirge.

Das sind Gebirge, die durch einen deckenförmigen Aufbau charakterisiert sind. Überall auf der Erde, wo die genauere tektonische Analyse in den Bau echter Dislokationsgebirge, die aus orogenetischen Zonen abstammen, eindringt, zeigt sich dasselbe Baubild: Deckenstruktur. Hatte man noch vor Jahren deckenförmigen Aufbau von Gebirgen für einen Spezialfall gehalten, so zeigt sich jetzt, daß diese Anschauungen nicht zutreffen, daß Deckenbau ein integrierender Bestandteil im Aufbaue der Erde ist. Orogene, die zur Deckenstruktur der Gebirge führen, sind immer wiederkehrende Lebensformen des Planeten. Sie sind hochgesteigerte Kontraktionserscheinungen.

Deckengebirge sind heute schon aus allen Teilen der Erde bekannt, in den jungen Orogenen, als auch in den paläozoischen Kettengebirgen. Ja, sogar in den vorkambrischen Gebirgsteilen, in den Proteroiden Finnlands z. B., finden sich Strukturen, die vielleicht als Deckenstrukturen zu deuten sind.

Digitized by Google

In den jungen Kettengebirgen ist Deckenbau bekannt geworden: Aus den ganzen Alpen, aus den Pyrenäen, der betischen Kordillere, aus dem Atlas, aus dem Apennin, Karpathen, Dinariden, Tauriden, aus dem Kaukasus, aus dem Himalaya, aus Tonking, aus Sumatra, Timor, Neukaledonien, aus den Anden, aus den Rocky Mts.

In den paläozoischen Ketten ist deckenförmiger Aufbau beschrieben worden, aus dem belgischen Kohlenrevier, aus dem Zentralplateau, aus den Vogesen, dann aus Schottland, aus Skandinavien, aus dem schlesisch-mährischen Vorland der Karpaten. Hier ist durch die Untersuchungen von F. E. Suess auf eine Strecke von 250 km von Friedberg in Schlesien bis nach Krems an der Donau ein alter paläozoischer Deckenbau enthüllt worden, von ebenso regionaler Bedeutung, wie etwa im alpinen Bogen. Deckenstrukturen hat man auch im Capgebirge erkannt, ebenso in den Appalachen.

Es ist ein regionales Phänomen aus allen gebirgsbildenden Perioden der Erde. Es findet sich in den jungen „Kettengebirgen" wie in den alten „Schollengebirgen". Wir sehen daraus schon, daß dieser Unterschied also nicht so sehr im inneren Aufbau als in der Erscheinungsform liegt. Schollengebirge können im inneren Aufbau echte Deckengebirge sein, genau so wie die Kettengebirge durch jugendliche Deformationen in Schollengebirge aufgelöst werden können.

Es wird sich zeigen lassen, daß die Alpen als ganzes ein Kettengebirge sind, beherrscht vom Deckenbau, daß wir aber, wenn wir das jüngere morphologische Bild zur Grundlage machen, die Alpen im gewissen Sinne schon als ein Schollengebirge betrachten können. Wir sehen ja auch, wie aus dem alpin-karpathischen Bogen Gebirgsstücke herausgeschnitten worden sind, die als „Schollengebirge" bezeichnet werden können. So ist der Bakony, oder das Dachsteinkalkgebirge bei Budapest, ja sogar schon die kleinen Karpathen, im morphologischen Sinne ein Schollengebirge.

Wir wollen nun im folgenden einige Typen von Deckengebirgen und ihre Genetik darstellen.

Allgemeine Merkmale eines jungen Deckengebirges.

In jedem normal gebauten jungen Deckengebirge unterscheiden wir:

Das Vorland.

Das Vorland, das dem Außenrande des Deckengebirges vorgelagerte ungefaltete Land, das der Überfaltung Stand gehalten hat, also nicht mehr in den Deckenbau einbezogen worden ist. Es wird durch eine scharfe Überschiebungslinie vom Deckengebirge abgegrenzt. Das Deckengebirge wird auf das Vorland überschoben. Man sagt auch, das Vorland taucht unter das Deckengebirge unter.


Digitized by

Das Vorland zeigt nicht die geosynklinale Fazies, hat höchstens neritische Entwicklung, meist aber echt epikontinentale Ablagerungen, die in scharfem Gegensatze stehen zu den echten geosynklinalen Sedimenten der Deckengebirge, die häufig fast unvermittelt an das Vorland herantreten, dort sich in Aufbau, Fossilgehalt und Gestalt recht fremdartig ausnehmen und deswegen gerne als exotische Gesteine bezeichnet worden sind, insbesondere noch, wenn sie in Form von „Klippen“ auftreten. Das Vorland zeigt meist den alten Bauplan und steht infolgedessen dem streng gefügten jungen Ketten-, Zonenbau des Deckengebirges ungemein fremd gegenüber.

Hier war es wieder Eduard Sueß, der in seinem Werke „Die Entstehung der Alpen“ 1875, mit genialem Blick alle diese Verhältnisse im Baue der Alpen gegenüber dem Vorlande, seiner Zeit weit voraus, so wunderbar erfaßt und dargestellt hat. Er ist damit zum Begründer der Deckenlehre geworden.

Fig. 19. Profil der nordsyrischen Tafel und des Taurus nach L. Kober. Die Tafel besteht aus Kreide und Eozän (*a*—*c*) mit Basalt (*d*) und sinkt unter das gefaltete Gebirge des Taurus. Dieses zeigt hier zwei Decken. Die Randdecke besteht aus Grundgebirge (*1*) und Eozän, Kreidekalke (*2*) und Flysch (*3*) und tritt mit Serpentin (*4*) an der Basis über das Vorland. *Ü* = Überschiebungslinie. Die zweite Decke besteht, soweit es erkenntlich ist, aus paläozoischen Schiefern und Kalken (*5*, *6*). *M* = Miozän?

Grenze von Vorland und Deckenland.

Vorland und Deckenland zeichnen sich fast in allen jungen Deckengebirgen gut ab. In einigen Fällen stellt sich an der Grenze eine Art „Vortiefe“, ein Graben ein, derart, daß wir sehen, daß das Vorland in Staffeln in die Tiefe geht, während auf der anderen Seite des Grabens die heranwallenden Decken das Deckengebirge zu himmelragender Höhe bauen. Diese Verhältnisse lassen sich in Nordsyrien beobachten, an der Grenze der nordsyrischen Tafel gegen die Ketten des Taurus. Hier senkt sich bei Marasch an der Außenseite des Taurus ein Graben ein, der nach Süden fortsetzt, und der auch als die Fortsetzung des syrischen Grabens angesehen worden ist. (Siehe auch Fig. 19.)

Aber es ist kein Graben im richtigen Sinne; denn die Südbegrenzung bildet die syrische Tafel, die Nordseite aber wird von den Ketten des taurischen Deckengebirges gebildet. Nord- und Südseite des

Digitized by Google

Grabens sind tektonisch und faziell scharf geschieden. Es ist diese Tiefenrinne auch deswegen kein Graben, weil ja die taurischen Ketten sich an Überschiebungslinien gegen Süden über die Tafel überwälzen, der Graben also tektonisch unsymmetrisch gebaut ist. Die eine Grabenwand bildet die Tafel, die andere das Kettengebirge (Deckengebirge).

Die Vortiefen.

Dieses Beispiel wurde angeführt, weil es einen Einblick gibt in den Bau der Vortiefen. Morphologisch erscheinen diese als Gräben, als Rinnen, tektonisch aber sind sie keine Gräben, sondern eben die Grenzregion des Kettengebirges und des Vorlandes, jene Stelle, wo das Vorland unter dem Gewichte des heranwälzenden Deckengebirges in die Tiefe gedrückt wird. Dabei bricht es in Staffeln ab. Die Steilmauer des Deckenwalles ist die Ursache, weshalb das Vorland so tief absinken muß, d. h. die Vortiefe so tief werden muß. An den Außenseiten der asiatischen und australischen Ketten liegen die Vortiefen von Japan, die Tonga-, die Kermandezgräben vor, die bis fast 10 km hinunter tauchen. Dabei steigen die Deckengebirge selbst wieder in die Höhe bis zu 3000 m.

Wir sehen, es ist ein gewaltiges Massenmaterial, das hier offenbar in Bewegung ist. Wenn wir die höchsten Höhen der jungen Ketten fast 9000 m gleich am Außensaum erreichen sehen, so erhalten wir fast 20 km Maximalabstand zwischen den höchsten Höhen und den größten Tiefen.

So wird uns die Bedeutung der Grenze von Vorland und Deckenland untrüglich durch die Natur gelehrt. Die Vortiefen sind tiefe Rinnen, am Außensaume des Kettengebirges, entstanden durch das Hinübertreten des Deckengebirges über das Vorland, durch das Hinabdrücken des Vorlandes durch das enorme Gewicht des im Deckengebirge vorrückenden Faltungskörpers.

Sie scheinen dort am tiefsten zu sein, wo sich die Randketten mit großen Mächtigkeiten über das Vorland darüberwälzen.

Die Vortiefen der jungen Kettengebirge sind gekennzeichnet durch die mächtige Aufschüttung junger Gesteinsmassen, hauptsächlich klastischer Ablagerungen der Kreide und des Tertiär. Dieser Prozeß der Ausfüllung der Vortiefe kann bis in die jüngste Zeit reichen.

Die Ebenen des Ganges, des Tigris und Euphrat sind schon lange bekannte Beispiele von Vortiefen, die von jungen mächtigen Ablagerungen ausgefüllt, dem Fuße des Gebirges folgend vorgelagert sind. Vor den Alpen liegt die Molassezone, im Ostalpengebiet zwischen dem böhmischen Massiv mit dem eigentlichen Alpenstrange eingebettet. Häufig vergleicht man die miozänen den Alpenketten vorliegenden Vortiefen mit den Verhältnissen, wie sie heute im Sunda-Archipel herrschen,

Digitized by Google

und z. T. mögen auch in der Tat Teile der heutigen Alpen im Miozän einen ähnlichen Aufbau besessen haben. Es wurde schon erwähnt, daß man z. B. in der bayrischen Molasse auch rote Tone aufgefunden hat, die als Tiefseetone gedeutet worden sind. Auch Tiefsee-Globigerinen wurden aufgefunden. Natürlich ist das Vorkommen grober klastischer Gesteine gar kein Hindernis gegen die Anschauung, daß in der Molassezone auch tiefere Sedimente vorkommen können. In Archipelgebieten, die von tiefgehenden Geosynklinalen, Gräben, durchzogen werden, können Sedimente in Tiefen von 5000—6000 m entstehen, die Tiefseecharakter besitzen können, aber auch von groben klastischen Ablagerungen begleitet werden, die in die Vortiefe abrutschen, wenn die die Ketten aufbauenden Antiklinalen die Gebirgsbewegungen fortsetzen. Daher finden wir so oft Brekzien mit Tiefseesedimenten verbunden. Diese sind submarin zementierte von den Hängen der Geoantiklinalen abgerutschte Ablagerungen, submarine Schuttströme, z. T. auch vielleicht direkt vom Lande eingeführtes Material.

Das Deckenland.

Dieses umfaßt den eigentlichen Gebirgskörper. Eine Reihe von Schubmassen, Decken, bauen den Gebirgsleib auf. In den einzelnen Decken unterscheiden wir meist den Ursprungsort derselben, die Wurzel, dann den eigentlichen Deckenleib, dann die Deckenstirn. Mehrere Decken liegen übereinander, so daß wir Oberflächen- und Tiefendecken unterscheiden können. Die ersteren zeigen gerne die Struktur von Abgleitungsdecken, besonders gegen die Stirn hin, die Tiefendecken meist den Charakter der Tauchdecken. Darum haben sie höhere (regionale) Metamorphose. Sie sind unter hoher Belastung, eben unter der Bedeckung der Oberflächendecken, erzwungen worden. Diese zeigen sich daher frei oder nicht in dem Maße beeinflußt als die Tiefendecken, in denen gerne auch der Vulkanismus eine große Rolle spielt, wenngleich auch den Oberflächendecken natürlich ebenfalls ein Vulkanismus zukommen kann. In den Oberflächendecken stecken häufig die jüngsten vulkanischen Nachschübe, Granite. Die Decken gliedern sich ferner in die Stammdecken und die Teildecken, die Abkömmlinge der Stammdecken sind. An der Oberfläche erzeugt der Deckenbau gerne das Bild zonarer Anordnung. Es scheiden sich charakteristische typische Zonen, so eine Flyschzone, eine Kalkzone, eine Zone mit metamorphen jungen Schiefern (Schistes lustrés), dann wieder ältere kristalline Zonen. Diese Anordnung ist in den Alpen zu verfolgen, sie ist aber auch in anderen Gebirgen zu finden. Am Außensaume stellen sich häufig Klippen ein, im Inneren des Deckenlandes erscheinen durch die Erosion der Oberflächendecken die Tiefendecken in Fenstern, wieder mit ganz anderen Charakteren als die Oberflächendecken (Metamorphose). Wir

Digitized by Google

können ferner die Decken scheiden, in solche mit äußerer und mit innerer Wurzel, je nachdem sie mehr dem Außenrande oder dem inneren Teile der Geosynklinale entpreßt worden sind. Die Decken zeigen sich nicht immer in einfacher Folge übereinander, sondern sie sind miteinander durch jüngere Bewegungsvorgänge verfaltet, so daß eine ursprünglich höher liegende Decke unter eine ursprünglich tiefere zu liegen kommt. Man spricht dann von einer Einwicklung der Decken. Die Decken sind durch bestimmte Fazies gekennzeichnet. Die Fazieskonstanz einer Decke ist ziemlich groß. Natürlich wird die Fazies einer Decke sowohl im Streichen als auch quer darauf auf größere Distanzen hin sich verändern, es stellen sich Beziehungen zu der Fazies der Nachbardecke ein. Sie geht in die Fazies der Nachbardecke über. Diese Übergänge existieren und sind von größter Bedeutung. Sie bezeugen die Korrelation der Fazies, d. h. die natürlichen gesetzmäßigen Verbindungen, Beziehungen, Zusammenhänge von einer Fazies zur anderen. Diese gesetzmäßigen Beziehungen einer Fazies zur anderen gestatten gerade so guten Einblick in die Genetik des Gebirges. Die Decken eines Deckengebirges sind in ihrer Hauptentstehung nach einer Richtung hin bewegt worden, in den Alpen ist es die Richtung von Süden nach Norden, in anderen Gebirgen ist sie eine andere, immer aber ist es die Richtung auf das Vorland. Neben dieser Hauptbewegungsrichtung können auch sekundäre, transversale Bewegungen sich einstellen. Dann entstehen transversale Achsen, auch Erhebungsachsen genannt, transversale Mulden. In den Erhebungsachsen kommen in Fenstern die Tiefendecken zum Vorschein. Die longitudinale, die transversale Deckentektonik ist dann zu scheiden. Ebenso ist dann noch die lokale Tektonik von dieser regionalen zu trennen. Jüngere Bewegungen setzen in Form von longitudinalen oder transversalen Brüchen durch das gefaltete Deckengebirge und zerlegen es in eine Reihe von Schollen. So werden die Karpathen gegen die Alpen zu in Schollen aufgelöst, zwischen denen Gebirgsteile in die Tiefe gebrochen sind. Auch das ist wieder regionale Tektonik, aber wieder anderer Art, anderer Entstehung, wenigstens scheint es so zurzeit, als die Deckenbewegung. Alle diese Bewegungsformen und Phasen sind zu sondern.

So ist das Deckengebirge in seinem heutigen Baue ungemein kompliziert struiert und ist die Folge einer ebenso kompliziert verlaufenden Entwicklungsgeschichte.

Wieder waren es die Alpen, im besonderen die Westalpen, die hier Licht gebracht haben. Ohne in Einzelnheiten eingehen zu können, wird hier versucht, ein Bild der Genetik der Alpen zu entwerfen, wie es durch die Arbeiten der alpinen Geologen gewonnen worden ist. (M. Bertrand, H. Schardt, M. Lugeon, E. Haug, P. Termier, A. Heim, E. Suess, C. Schmidt, Argand, R. Staub, Steinmann, Arbenz, Kober u. a.)


Digitized

Die Alpen entstehen auf dem Boden der paläozoischen Gebirge. Diese werden zum großen Teil eingeebnet und versinken im Laufe des Mesozoikum immer mehr und mehr in die Geosynklinale. Nicht alle Teile gleich. Der stete Kontraktionsdruck läßt Teile tiefer sinken, andere weniger tief, so bilden sich auf dem Boden der Geosynklinale im Kontraktionsfelde liegende mehr oder weniger parallele Meeresbecken. Durch Rücken getrennte Geosynklinalen und Geoantiklinalen entstehen, die von Norden nach Süden abwechselnd einander folgen. Die Geoantiklinalen werden zu Deckenembryonen, diese wachsen im Laufe der Gebirgsbildung durch das Mesozoikum zu Stammdecken aus, von denen spalten sich später wieder Teildecken ab. Die Decken wandern am Meeresgrunde langsam und stetig gegen das Vorland, erheben sich allmählich über das Meeresniveau, wachsen zu Inseln, zu Inselreihen, Inselketten, endlich zu zusammenhängenden Gebirgszügen aus (Argand und Staub). Es ist ein Großfaltenmechanismus, wie man mit Abendanon auch sagen könnte, ein Wandern von Grundfalten (Penk), die immer mächtiger werden, zu Geoantiklinalen aufgetürmt werden, zwischen denen Geosynklinalen tief eingebettet liegen. Die Geoantiklinalen überstürzen sich endlich, die eigene Schwere drängt sie in die Geosynklinale hinunter, diese wird zugedeckt (überschoben). Eine Ruhepause folgt. Dann schiebt sich die nächste Geoantiklinale vor. Der Vorgang wiederholt sich. Dann lebt die erste früher entstandene Geoantiklinale wieder auf, schiebt sich über die bereits vorliegende, beide wandern zusammen wieder weiter auf das Vorland zu und überdecken das Gebiet vor sich mit ihrem Deckenwall, oder schieben es vor sich her, stauen es auf, überstürzen es. Phasen der Ruhe folgen Phasen gesteigerter Gebirgsbildung. Dies alles kommt in den Sedimenten deutlich zum Ausdruck. Die Brekzien entstehen immer bei der unruhigen Phase, sie bezeichnen den Weg der Gebirgsbildung zeitlich und örtlich und sind deshalb wertvolle Leithorizonte in der Entwirrung der Genetik eines Deckengebirges. Die Sedimentbedingungen komplizieren sich mit der Deckenbildung immer mehr. Aus dem Schutt der vorrückenden Decken können sich Ablagerungen auf dem Meeresboden bilden, die selbst wieder zu Decken werden.

Die Deckenwanderung geht von den inneren Partien der Geosynklinale aus und schreitet immer mehr gegen das starre Lager des Vorlandes zu. Auch dieses kann mehr oder weniger von der gewaltigen Bewegung erfaßt und in den Strudel des orogenen Kraftfeldes einbezogen werden. Je mehr die Geosynklinale ausgepreßt wird, desto mehr wird es sich zum Gebirge auftürmen und landfest werden. Es folgt die Phase der Emporwölbung des Deckengebirges zum Kettengebirge. Diese Phase hat Steinmann auch als positive Gebirgsbildung bezeichnet. Nach Heim folgt dieser Phase eine weitere, die dadurch gekennzeichnet

Digitized by Google

ist, daß das Gebirge infolge seiner enormen Mächtigkeit, seines großen Gewichtes in die Tiefe sinken muß, eintaucht, wie ein Eisberg im Meere. Dies ist eine Art Schlußphase in der Gebirgsbildung eines jungen Deckengebirges. Vielleicht könnte man diese Phase als negative Phase bezeichnen. Die positive Phase ist gern charakterisiert durch die Zerlegung des Gebirges in Schollen. Die aus dem Meere aufsteigenden Gebirge bleiben längere Zeit im Meeresniveau, erfahren hier eine weitgehende Einebbung, die wir in den Westalpen, in den Ostalpen sehen (prämiozäne, präglaziale Oberflächen). Die Alpen haben in diesen Zeiten nicht den Charakter eines Hochgebirges. Es ist eher ein Hügelland oder ein Mittelgebirge. Erst die positive Gebirgsbildung treibt die Alpen in die Höhe. Man sagt, es seien diese Bewegungen epirogenetische Bewegungen. In der Tat äußern sie sich meist in Brüchen, Flexuren, in Verbiegungen der alten Landoberfläche. Aber diese epirogenetischen Bewegungen sind, wie schon gesagt, verkappte orogenetische Bewegungen, Brüche, die später vielleicht zu Überschiebungen werden können. Jedenfalls sind sie keine anders gearteten Bewegungen, sondern eben nur Fortsetzungen der orogenetischen, der Deckenbewegungen, Bewegungen aus einem kleinen geologischen Zeitraume meist von keiner großen Intensität.

Die positive Gebirgsbildung ist, wie wir sehen, von der Vergletscherung begleitet. Vom geotektonischen Gesichtspunkte aus muß man auf einen tieferen Zusammenhang zwischen Emporwölbung und Vergletscherung schließen und es macht auch den Eindruck, daß die Maxima der Emporwölbung mit den Maxima der Vergletscherung zusammenfallen. So steht die positive Gebirgsbildung unserer Meinung nach in kausalem Zusammenhange mit der Vergletscherung, eine Anschauung, die von E. Haug u. a. vertreten wird.

Die negative Phase ist natürlich mit einer Entgletscherung verbunden. Es ist möglich, daß solche positive und negative Phasen abwechseln, d. h., daß das Einsinken des Gebirges immer wieder durch Emporwölbung infolge fortgehender Kompression kompensiert werden kann, daß also ein Schaukeln des Gebirgskörpers entstehen könnte. In wieweit dieses wieder mit Interglazialzeiten zusammenhängen kann, soll hier nicht behandelt werden.

Von diesem Gesichtspunkte aus erscheint aber die alpine Vergletscherung mehr als ein lokales Phänomen, das einen selbständigen Verlauf hat und verschieden sein kann von einer gleichzeitigen oder nahezu gleichzeitigen anderen alpinen Vergletscherung.

Wir haben schon gesagt, daß Forscher auch die Meinung ausgesprochen haben, daß die (positive) Gebirgsbildung eine Klimaverschlechterung (Eiszeit) mit sich führe, die Verebbnung bezw., wie wir jetzt sagen können, die negative Phase wieder eine Klimaverbesserung.

Digitized by Google

Das Wurzelland.

Anhangsweise wollen wir nur sagen, daß das Wurzelland, wie wir gesehen haben, nicht eine selbständige Zone sein muß, sondern die Wurzeln der Decken entspringen verschiedenen Teilen der Geosynklinale, die alle mehr oder weniger parallel zueinander verlaufen. Dort, wo die Auspressung der Geosynklinale besonders intensiv wird, häufen sich die Wurzeln, oder werden selbst ausgepreßt, es entsteht eine Narbe, eine Region, in der infolge der weitgehenden Auspressung tiefere Rindenteile des Gebirges an die Oberfläche kommen. Hier setzt gewöhnlich dann auch ein lebhafter Vulkanismus ein.

Deckengebirgsschema.

Im folgenden sei ein ganz schematisches Bild eines Deckengebirges, etwa vom Charakter der Alpen, wiedergegeben.

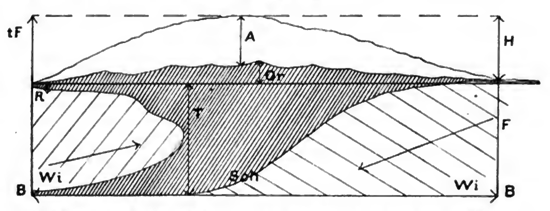


Fig. 20. Schema eines Deckengebirgskörpers nach A. Heim und L. Kober.

M sei das allgemeine Niveau der Erdoberfläche, ungefähr das Meeresniveau. Um nicht noch mehr Komplikationen zu erhalten, wollen wir von dem einfachsten Fall ausgehen, daß vor der Horizontaldislokation die Rindenoberfläche eben in diesem Niveau gelegen hätte (verwickelter wären die Verhältnisse dann, wenn das Gebirge an Stelle von Meergrund oder von einem älteren Plateau aufgefaltet wird). (Der Buchstabe *M* fehlt in der Zeichnung.)

Sch sei die Scherzone der Dislokation, d. h. die Basis, auf welcher, oder die Übergangszone, innerhalb welcher bei beginnender Stauung die zu faltende Rinde sich am nicht faltenden Untergrunde verschiebt.

M ist die Oberfläche, *Sch* die Unterlage der faltenden Rinde. Die Tiefe von *Sch* unter *M* ist die ursprüngliche einfache Dicke der faltenden Rinde oder kurzweg $R =$ Rindendicke.

T ist die größte Tiefe der Scherzone unter der ursprünglichen Oberfläche = Faltungstiefgang.

H ist die Höhe der ergänzten Faltenscheitel über der ursprünglichen Oberfläche = Faltungshochgang.

$F = T + H$ ist die gesamte Stauungsdicke der gefalteten Rinde oder kurz die ganze Faltungsdicke.

$B - B =$ ist die ganze Faltungsbreite.

$TF = F - R$ ist die Höhenamplitude der Faltung oder die rein tektonische Faltungshöhe.

A sei der Verwitterungsabtrag.

$Or = H - A$ die noch gebliebene orographische Höhe des Gebirges.

$F - R$ ist die isostatische Senkung der negativen Phase.

$Wi =$ die starren Widerlager.

Digitized by Google

Der Faltungstiefgang der verschiedenen Ketten (Deckengebirge) ist sehr ungleich und oft nur sehr unsicher zu schätzen. Im Juragebirge liegt eine gut zu bestimmende ausgesprochene Abscherungsfläche in den Mergeln der Trias. Der darüber liegende Schichtenkomplex $R =$ 1000—2000 m hat sich wie eine zusammengeschobene Haut gefaltet; das darunter liegende ist relativ steif geblieben. Die Faltung greift 500 bis 1500 m unter das Meer (T), das ist $F =$ 1800—3600 m unter die ursprüngliche Höhe der Molasserücken vor dem Verwitterungsabtrag. Sie fällt sanft gegen SE ab (Buxtorf). Im Gebiete der Waadtländer Préalpes kennt man eine Überschiebungsfläche 2000—4000 m unter den Gipfeln mit $T =$ 1000—2000 m. Dort aber sind darunter noch zwei andere tiefere Schichtenstockwerke in verquetschte Formen gefaltet. An der nördlichen Randzone des Aarmassives sind Faltungsamplituden (tektonische Höhen) $TF =$ 6000—8000 m festzustellen, d. h. ein und dieselbe ursprünglich annähernd horizontale Schicht ist dort durch Faltung jetzt in diese Höhendifferenzen verstellt. Im Gebiete der helvetischen Decken ist $F =$ 5—10 km. Nehmen wir die Faltung der untenliegenden autochtonen Zonen am N-Rand der Zentralmassive mit den helvetischen Decken zusammen, so kommen wir auf eine Faltendicke F von über 12 km bei genügender Abschätzung der unterliegenden Massivfaltung auf 15—20 km. Sehr ungleich aber ist die Verteilung dieses Betrages auf Faltenhoch- und Faltentiefgang. Die orographische Höhe ist meistens viel geringer als der Tiefgang. Letztere schwankt bei verschiedenen Zonen zwischen $^1/_3$ und $^4/_5$ von F, das sind 5 bis 15 km. Weit gewaltiger ist die Faltung im penninischen Gebiet. Ein Schichtenkomplex von $R =$ 15 km ist in Amplituden von 25 km gefaltet (E. Argand). Der gesamte gefaltete Komplex mißt deshalb $F =$ 35 bis 40 km. Die größte Faltungsdicke von wohl 50 km liegt in der Zone Monte Rosa-Bernina (Profil von Argand und R. Staub). Heute sind davon in den kräftigsten Teilen noch gegen 30 km vorhanden, wovon 20—25 km als F (Faltungstiefgang) unter Meeresniveau stehen. Dies sind natürlich schätzungsweise erhaltene Zahlen, im besonderen kann die Zahl T auf mehrere km nicht näher angegeben werden. Unsere Schätzungen sind wohl noch zu bescheiden (A. Heim).

Die Schwere (Dichte) in Deckengebirgen.

Wir wollen hier gleich im Anschlusse an diese Ausführungen die Schwere- (Dichte-)Verhältnisse der Deckengebirge besprechen, da sie mit dem Bau in engstem Zusammenhange stehen. Die Untersuchungen über die Dichteverhältnisse der Erde, insbesondere der Gebirge der Erde, werden seit längerer Zeit in allen Ländern durchgeführt, und es ergab sich das allgemeine Resultat, daß die Gebirge nicht jene Schwere

Digitized by Google

besitzen, die ihnen zukommen sollte. Die in den Gebirgen gefundenen Schwerewerte erwiesen sich meist zu gering gegenüber den theoretisch geforderten. Die Schwere ist meist zu gering. Solche Schweredefekte wurden in den Alpen, Apennin, Jura, Himalaya, Rocky Mts. aufgefunden. In andern Fällen ergaben Gebirgsstücke einen Schwereüberschuß, so der Schwarzwald, die Vogesen, der Harz. Schwereüberschüsse zeigten gern auch die Ebenen und Tieflande.

Wir folgen hier wieder den klaren Zusammenfassungen, die A. Heim über diesen Gegenstand kürzlich gegeben hat.

„Da die Erdschwere von der Masse der Substanz abhängig ist, die unter dem Beobachtungsorte liegt, so bedeuten zu langsame Pendelschwingungen, d. i. zu geringe Schwere, einen relativen Massendefekt. Zu rasche Pendelschwingungen beweisen einen relativen Massenüberschuß unter den Füßen des Beobachters. Die Schwereabweichungen bewegen sich nicht in weiten Grenzen. Es handelt sich von Ort zu Ort um einige Zehntel- oder Hundertstel-Promille. Nirgends ist der Wechsel sprungweise. Er ist stets kontinuierlich langsam vermittelt. Auch innerhalb ein und desselben Gebirges variiert der Massendefekt, und einige Zehntausendstel von Schwereabweichungen bedeuten schon viel.“

Als zuerst der erstaunliche Schweredefekt unter den Alpen bekannt wurde — hier bedeuteten die Untersuchungen von Sterneck einen wichtigen Anfang — tauchte an vielen Orten die Meinung auf, es müßten in der Tiefe gewaltige Höhlen sich finden. Solche sind unmöglich in der Tiefe, sie müßten sich unter dem Drucke, dem Gewichte der darauf liegenden Massen immer wieder schließen. Die Ursache der Schwereschwankungen kann nicht in Hohlräumen, sondern nur in der wechselnden Verteilung verschieden dichter Gesteine gesucht werden. Da die Dichte in der Erde in konzentrischen Schalen mit der Tiefe zunimmt, so muß eine auffallende Schwereabweichung im allgemeinen dann entstehen, wenn die Grenzflächen der verschieden dichten Schalen von ihrer regelmäßig konzentrischen Form abweichen. Eine lokale Einbiegung derselben heißt Schweresynklinale. Die dichteren Massen liegen etwas eingedrückt und die Vertiefung ist mit weniger dichten Gesteinen ausgefüllt. Das Pendel ergibt hier Massendefekt. Eine lokale Aufwölbung der Grenzflächen verschiedener Gesteinsdichten ist eine Schwereantiklinale. Sie setzt dichtere Substanz an Stellen, wohin leichtere gehörte, und die Pendelbeobachtung hier Massenüberschuß.

Wenn ein Faltengebäude von Sedimenten oder von vorherrschend salischen Gesteinen zusammengestoßen und mächtig aufgetürmt

Digitized by Google

worden ist, so drückt dasselbe die konzentrischen Grenzflächen der schwereren Gesteine in die Tiefe ein und zwingt sie zu seitlichem Ausweichen und es entsteht Massendefekt.

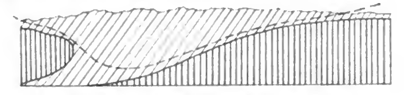


Fig. 21. Schema eines Gebirges mit Massendefekt.
Der Gebirgskörper (schief schraffiert) ist zwischen die starren Widerlager des Vorlandes eingesenkt. Die gestrichelte Linie ist die Linie der theoretischen Normalschwere. Sie senkt sich unter dem Gebirgskörper im allgemeinen dort am tiefsten ein, wo die Versenkung der Gebirgsmasse (Decken) am größten ist.

Die Alpen.

Wir wollen nun zur Erläuterung des über Bau, Genetik und Schwere eines Deckengebirges Gesagten, die Alpen als typisches Beispiel besprechen und beginnen mit den Westalpen, die bisher am besten studiert worden sind.

Der Deckenbau der Westalpen.

Der Deckenbau der Westalpen ist der Hauptsache nach geklärt. Die Westalpen sind ein Schulbeispiel eines kompliziert gebauten Deckengebäudes, das dank der eifrigen Arbeit zahlreicher Forscher so gut erforscht ist. Zugleich hat die genauere Kenntnis immer tiefere Einblicke in die Genetik dieses Deckengebirges gegeben. Wieder sind eine Reihe neuer Vorstellungen gereift und gefestigt worden.

Die Anregungen zum deckenförmigen Aufbau sind 1884 von M. Bertrand ausgegangen. In der Fortführung dieser Ideen hat H. Schardt die Schweizer Voralpen 1890—1893 als überschobene von Süden kommende Schubmassen angesprochen. Zur allgemeinen Anerkennung der Deckenlehre hat dann M. Lugeon 1902 viel mit beigetragen. Seit dieser Zeit sind eine Reihe von Forschern tätig und der Deckenbau der Westalpen ist Gemeingut der westalpinen Geologen geworden.

Zusammenfassende Darstellungen haben in letzter Zeit E. Argand, A. Heim und R. Staub gegeben, denen wir hier auch folgen.

In den Westalpen werden folgende Deckensysteme unterschieden.

1. Die helvetischen Decken.

Diese legen sich unmittelbar an die Molasse, sind eine Reihe von Decken vom Typus der Oberflächendecken, also ohne nennenswerte Metamorphose, Gleitdecken, die im allgemeinen im Aarmassiv bezw. in

Digitized by Google

dessen Fortsetzung nach Westen im Massiv der Aiguilles rouges wurzeln. Die Schichtfolge ist im allgemeinen eine neritische, schiefrig kalkige, der helvetischen Geantiklinale entstammend und reicht von der Trias bis in das Eozän, ohne nennenswerte Diskordanz. Das helvetische System kann in die eigentlichen autochthonen Massive, in die parautochthonen Decken (Dent Morcles, Dent du Midi), in die tieferen und die höheren helvetischen Decken gegliedert werden. Zur ersteren gehören die Glarnerdecke, die Mürtschendecke im Osten. Die Axen-, Säntis- und Drusbergdecke bilden die höheren helvetischen Decken. Diese sind es auch, die nach Osten hin gegen die ostalpine Flyschzone fortsetzen, z. T. aber unter die ostalpinen Decken am Rhein hinunter tauchen. (Siehe Fig. 5, Seite 61.)

Die helvetischen Decken legen sich auf der Nordseite auf die Molasse, auf der Südseite gehen sie in das zweite große Deckensystem der Westalpen über, in das

2. Penninische Deckensystem.

Diese bilden einen großen Teil der Westalpen und nehmen in der zentralen Zone der Westalpen den ganzen Raum ein von der Rhone bis an die oberitalienischen Seen (Bellinzona). Die penninischen Decken sind ausgezeichnet vor allem durch die für bathyal gehaltene Fazies der Schistes lustrés. Es ist eine ziemlich metamorphe Schichtfolge von Kalkphylliten, Marmoren und Schiefern, reich an Grüngesteinen. Auch der tektonische Charakter ist ein prägnanter. Die penninischen Decken sind echte Tauchdecken, Tiefendecken unter hoher Belastung erzwungen. Die Decken zeigen einen Gneiskern, ummantelt von Schistes lustrés. Eine ganze Reihe von solchen Decken liegen übereinander. Es sind große Einheiten, die Argand über weite Strecken verfolgen konnte. Die Decken sind faziell geschieden. Es läßt sich eine Fazies des Briançonais von einer piemontesischen Fazies sondern. Die Hauptdecken sind: 1. Die Decken des Simplon, selbst wieder von unten nach oben in die Antigorio-, die Lebedun-, die Monte Leonedecke gegliedert, 2. die Decke des großen St. Bernhard, von der die Decken des Simplon nur tiefere Abspaltungen sind, dann 3. die Decke des Monte Rosa, und 4. die Decke der Dent Blanche, die in neuerer Zeit als tiefste ostalpine Decke angesehen wird. (Siehe Fig. 9, Seite 65.)

3. Die ostalpinen Decken.

Weiter folgt dann nach Süden die Wurzelzone für die höheren ostalpinen Decken, die aber in dem zentralen Teile der Westalpen nicht entwickelt sind. Im Süden bei Bellinzona-Ivrea liegt die Narbenzone für die Decken, die im Osten, in Graubünden in eine

Digitized by Google

Anzahl von Decken wieder gegliedert worden sind. Es sind dies die Margnadecke, die Errdecke, die Berninadecke, die Languarddecke, die Campodecke. Alle diese Decken zusammen bilden nach Staub eine Einheit, die sogenannte untere ostalpine Decke. Diese Serien haben ebenfalls den Charakter nordgetriebener Tauchdecken. Ihre kristallinen Massive, meist Granite, reichen nicht allzu weit nach Norden, dagegen sind die mesozoischen Hüllen weit auf den Außenrand vorgetrieben worden und bilden z. T. mit ihren untersten Gliedern die Voralpen, z. T. bilden sie an der Rheinlinie das eigentliche ostalpine Gebirge. Alle die Hüllgesteine stammen aus einem mehr geantiklinalen Gebiete, das die ostalpinen Merkmale des Mesozoikums gut entwickelt hat. In der Trias finden sich Dolomite, im Jura Allgäuschiefer und Fleckenmergel, Radiolarite im Tithon. Die Oberkreide zeigt aber noch nicht die typische Gosau.

Den höchsten Teil im Deckensystem nimmt die Silvrettadecke ein, die als obere ostalpine Decke bezeichnet wird. Noch eine weitere Einheit ist in den Westalpen zu unterscheiden. Dies sind die bereits erwähnten Voralpen, die nach

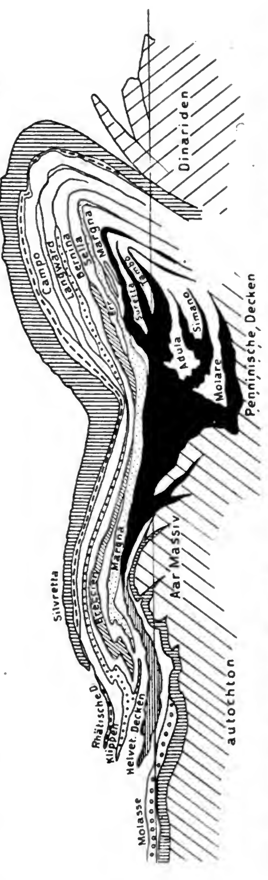


Fig. 22. Schema des Deckenbaues der Westalpen nach R. Staub (vereinfacht von L. Kober). Die helvetischen Decken liegen am Außensaume zutiefst, dem Aarmassiv entpreßt. Dann folgen im Inneren, im penninischen Trog, die penninischen Decken. Die ostalpinen beginnen mit der Margnadecke und enden mit der Decke der Silvretta. Die Steilstellung der Wurzel ist nach der Deckenbildung entstanden.

Digitized by Google

Osten hin in die berühmten Klippen der Schweiz ausklingen. (Mythen, Buochserhorn, Stanzerhorn usw.)

Diese Deckenserie liegt im allgemeinen über den helvetischen Decken, nördlich der autochthonen Massive. Die Voralpendecken gliedern sich in die Brekzien, die Klippen und die rhätische Decke. Die erstere ist ausgezeichnet durch das Auftreten von Brekzien. Ihr Äquivalent im Osten ist die Falknisbrekzie am Rhein. Die Klippendecke ist charakterisiert durch einen relativ ostalpinen Charakter. Die rhätische Decke ist eine typische ostalpine Decke. Sie hat ihre Wurzel tief im Süden und stammt aus dem Rücken der Campodecke, während die Klippendecke aus der Berninadecke stammt. Die Brekziendecke liegt noch tiefer und wurzelt wahrscheinlich in der Errdecke. Die rhätische Decke führt vielleicht schon typische Gosau, also ein ausgesprochen ostalpines Element. Alles in allem repräsentieren die Klippen der Schweiz die abgetragenen Reste der ostalpinen Kalkalpenzone, und zwar deren nördlichere Ketten. Sie sind ein klarer Beweis, daß die Kalkalpenzone der Ostalpen auch in den Westalpen ehemals weite Verbreitung hatte.

Die Entstehung der Westalpen.

Was nun die Entstehung des Deckenbaues anbelangt, so sind hier durch Arbeiten von Argand und Staub neue Anschauungen entwickelt worden, die in kurzem wiedergegeben werden sollen.

Die Alpenüberfaltung stellt nach Argand und Staub einen Vorgang vor, der im unteren Mesozoikum beginnt und tief bis in das Tertiär hinein dauert. Im Mesozoikum löst sich die alpine Geosynklinale unter dem Andrängen des südlichen starren Landes (Dinariden, Silvretta, indo-afrikanische Scholle) in eine Reihe von Geosynklinalen und Geoantiklinalen auf, so in die helvetische Geantiklinale, die penninische Geosynklinale, die ostalpine Geantiklinale, die oberostalpine Geosynklinale. Davon teilt sich jede Einheit wieder im Laufe der weiteren Entwicklung in Untereinheiten, so die penninische Geosynklinale in eine nordpenninische Geosynklinale, die Adula Geoantiklinale, eine mittelpenninische G. S., die Margna G. A.[1]) und endlich in die südpenninische Geosynklinale. Ähnliches findet sich auch in den ostalpinen G. A. Die mesozoischen Geantiklinalen, die sich frühzeitig besonders in der Margnadecke, dann in der Brekziendecke akzentuieren, sind die Embryonen der künftigen Decken. Die Stirnen dieser werdenden Decken führen die neritischen Sedimente, — hier spielen die Brekzien eine große Rolle, während die Rückenteile langsamer in größere Tiefen absinkend mehr bathyale Sedimente führen.

[1]) G. A. = Geantiklinale.

Digitized by Google

Diese Geantiklinalen sind wahre nordstrebende Falten mit steilerem Nordabsturze. Die Überfaltungen gehen nun in der Weise vor sich, ähnlich wie wir das in den Ostalpen auch erkannt haben, daß die südlichsten Decken zuerst andrängen, hier die ersten Decken entstehen, diese ständig nach Norden drängen, dabei den Untergrund überfalten. So entstehen zuerst die ostalpinen Decken, diese wälzen sich auf das penninische Gebiet, erzeugen unter sich dessen Tauchfalten, diese erzeugen dann im Verein mit den ostalpinen endlich die helvetischen Decken. So geht die Deckenbewegung von innen gegen außen, ein komplizierter Vorgang, in dem Phasen der Ruhe mit Phasen heftiger Bewegung wechseln, höhere Decken tiefere überrollen, um bei den weiteren gemeinsamen Wanderungen eingewickelt zu werden (Verfaltung der Decken).

So sind es recht komplizierte und langandauernde Vorgänge, die zur Entstehung des Deckengebirges führen. Besonders interessant ist hier die Aufrollung des Deckenbaues auf eine lange Zeit: indem der Beginn der Gebirgsbildung sich weit in das Mesozoikum verfolgen läßt, ja sogar in seinen Anfängen noch tiefer. So wird die Gebirgsbildung ein Prozeß, der kontinuierlich verläuft, sich nur im Spätmesozoikum, im Tertiär akzentuiert. Dies soll hier ganz besonders betont werden. Damit fällt ein Einwand, der gerne gegen die Kontraktionslehre erhoben worden ist.

Auch geschichtlich ist es interessant zu sehen, wie die Anschauungen gleichsam auf ihren Ausgangspunkt zurückkehren, freilich stark verändert.

Im Sinne der Lehre der Autochthonie waren die Alpen ein Gebirge, das allmählich im Mesozoikum entstanden ist. Die Deckenlehre faßte besonders die Westalpen genetisch als einen einmaligen sehr jungen Akt auf. So wurden die alpinen Deckenbewegungen in das jüngere Tertiär verlegt. Die Decken sollten in einem Gusse entstanden sein. Demgegenüber wurde in den Ostalpen, in den Karpathen von Murgoci, von Uhlig, von Kober das vorgosauische Alter großer Deckenbewegungen aufgezeigt. In den Ostalpen konnte man auch frühzeitig die Genetik in Phasen auflösen, Phasen der Ruhe und Phasen der Bewegung. Nun ist in den Westalpen das gleiche Bild der Genetik entwickelt worden, nur in größerem Umfange. Und so sind wir auf einem Umwege wieder zu der alten Vorstellung der Entstehung der Gebirge als eines lange andauernden Prozesses zurückgekehrt. Aber die Vorstellungen sind im Grunde doch nicht dieselben. Die Bewegungen sind als viel größere Phänomene erkannt worden.

Auf den Böden der Geosynklinale entstehen Differenzierungen, Antiklinalen und Synklinalen bilden sich. Diese akzentuieren sich. So entstehen Inselzüge, getrennt durch tiefere Furchen. Diese Geanti-



klinalen müssen nicht immer die Oberfläche des Meeres erreichen, sie können auch im Stadium submariner Rücken verharren. Beispiele bieten heute bis zu einem gewissen Grade die Verhältnisse des Sunda-Archipels und der Inselreihen im Osten Australiens. (Ozeaniden.)

Solche aus der Geosynklinale aufsteigende Geantiklinalen sind im Großfaltenmechanismus der Erdrinde entstanden, sind die Embryonen für die späteren Decken. Aus ihnen können die Stammdecken hervorgehen, aus diesen wieder die verschiedenen Teildecken.

Die Entstehung der Decken ist in gewissem Sinne von ihrem älteren Untergrunde abhängig. Variszische Horste markieren sich noch in der mesozoischen Geosynklinale als antiklinale Teile. Variszische Granitmassen spielen die Rolle stauender Hindernisse. Sie werden durch die alpine Faltung, besonders in den Außenteilen der Geosynklinale, nicht leicht überwältigt, bilden weit hinziehende Aufragungen, hinter denen sich die anrückenden Decken stauen. Aber sie drängen stetig gegen das Vorland. Dabei müssen sie die vorliegenden Stauzonen übersteigen. Haben sie aber diese endlich überschritten, dann stürzen sie gleichsam in Steinkaskaden in die vorliegende Tiefe in tektonischen Paroxysmen ab. Dort, wo solche stauende Massive nicht vorhanden sind, können die Deckenwanderungen ruhiger vor sich gehen. Sie fließen zwischen solchen stauenden Massiven gletscherartig vor und breiten sich aus. So quellen in den Westalpen z. B. die Decken des Embrunais zwischen dem Merkantur und dem Pelvoux weit gegen Westen vor.

So erhalten wir einen Einblick in die anfangs so unverständliche Mechanik der Deckenbildung. Wir stehen an einem Anfange. Alle diese Vorstellungen sind jung und werden sicherlich durch die fortschreitende Erkenntnis modifiziert werden. Und doch sind wir damit auf dem richtigen Wege und lernen damit auch das heutige Relief der Ozeanböden verstehen.

Die Schwere in den Westalpen (nach A. Heim).

Die geodätische Kommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft hat durch Messerschmidt und Th. Niethammer 1900 bis 1907 eine vollständige Aufnahme der Schwereabweichungen in der Schweiz ausführen lassen. In einem ganzen Netz von über 250 Stationen sind die Schwerebeobachtungen durchgeführt worden.

Das Schweremaximum mit + 200 finden wir im Schwarzwald, das Schwereminimum von Davos gegen die Silvretta mit gegen — 1700. Die größte Differenz innerhalb unserer Karte entspricht dem Fehlen oder Vorhandensein einer Masse, gleichwertig einer Gesteinslage von 1900 m Dicke und 2·4 spez. Gew. An das Bild der Schwereabweichungen in der Schweiz knüpfen sich folgende Betrachtungen.

Digitized by Google

1. Die Schwereabweichungen zeigen keinen unregelmäßigen sprungweisen Wechsel. Die Kurven gleicher Abweichung haben einen ziemlich glatten und zusammenhängenden Verlauf parallel der gesamten Struktur des Landes (Jura und Alpen), bei wenig veränderlichen Abständen. Schon hierin spricht sich eine große Gesetzmäßigkeit und Abhängigkeit vom Gebirgsbau aus.

2. Querprofil. Im Norden, im Schwarzwald, ist Massenüberschuß vorhanden. Am Rhein, oberhalb Basel, hat sich derselbe verloren und wir treffen hier wieder normale Schwere. Von Basel durch den Jura nimmt der Massendefekt gegen SSE. mit großer Regelmäßigkeit zu; er setzt fort durch das ganze Mittelland bis tief in die innersten Alpen hinein. Im Massendefekt ist der Jura wie nicht vorhanden; er zeigt sich nicht als selbständiges Gebirge; er verschmilzt mit dem Mittelland, mit den Alpen. Ohne Zweifel hängt dies damit zusammen, daß unter dem Jura eine gegen SSE. an Tiefe zunehmende Gleitfläche sich findet, über welcher das ganze Gebirge faltig zusammengeschoben ist, ohne daß die Gesteinsmassen unter der Gleitfläche an der Faltung teilgenommen hätten. Die Jurafaltung reicht also nicht bis in die tieferen, dichteren Teile der Erdrinde hinab und deshalb beeinflußt sie auch gar nicht die Schwereabweichung, die sich nur nach größeren, tieferen Zügen im Bau des ganzen Landes richtet. Im Querprofil vom Molasseland durch die Alpen bis in die Poebene nimmt der Massendefekt auch quer durch das Aarmassiv noch zu, bis er im Rücken der penninischen Decken sein Maximum erreicht. Südlich von Monte Rosa und Weißmies nimmt er dann rasch ab, und bei Ornavasso-Locarno treffen wir wieder normale Schwere. Die Alpen zeigen also im Schwerdefekt eine mit Faltung und Orographie harmonische Unsymmetrie, indem der Nordabhang sanft und breit, der Südabhang kurz und steil ist. Mit Ausnahme einer Schicht von Brissago hat die ganze Schweiz Massendefekt.

3. Längsprofil. Der Zusammenhang von Schwereabweichungen mit dem geologischen Bau zeichnet sich auch in der longitudinalen Anordnung noch deutlicher ab als im Querprofil. Sehr auffallend ist das Umbiegen der Isogammen zwischen Mitteljura und Westjura, wonach der Westjura weniger Massendefekt hat als der Mittel- und Ostjura. Die Abbiegung fällt derart mit der Querschiebung Vallorbe-Pontarlier zusammen, daß sie nur als eine Wirkung der letzteren gedeutet werden kann. In den Alpen sehen wir, daß im SW. der größte Schwerdefekt an der Innenseite des Montblancmassives gerade so dieser gehobenen autochthonen Schwelle entlang laufend ausweicht, wie es die dagegen brandenden penninischen Decken selbst tun. Sehr auffallend zeichnet sich im Gebiete des Kanton Tessin eine ausgeprägte Schwerebucht in den Massendefekt, die vom Südfuß in die Alpen hineinragt und alle



Isogammen nördlich ausbiegt. Dieselbe entspricht dem Umstande, daß die penninischen Decken in dieser Region eine scharfe, ausgeprägte, axiale Aufwölbung besitzen, so daß die tiefsten Gesteinszonen der Alpen hier relativ hoch hinauftreten. Das Schweremaximum am Südfuß der Alpen fällt in die Wurzelregion, wo die tieferen schwereren Massen relativ hoch aufsteigen. Die hier gelegene Ivreazone selbst schon zeichnet sich durch die Anhäufung von simatischen Gesteinen aus. Nach Osten mit der axialen Absenkung des ganzen Alpenbaues und dem Einsatz der ostalpinen Decken über den helvetischen und penninischen, wird der Schweredefekt am größten. Im Silvrettamassiv wird er stärker als selbst unter der ungeheuren Deckfalte der Dent-Blanche. Es entspricht dies dem Umstande, daß hier das gefaltete Gebirge im Längsverlauf noch tiefer eingedrückt ist, indem das der Dent-Blanchedecke entsprechende Stockwerk des alpinen Gebäudes unter der ganzen Silvrettamasse liegt. Noch weiter östlich zeigt sich wieder Abnahme im Massendefekt im Unterengadin da, wo eine Aufwölbung der Unterlage im sog. Engadinfenster wieder penninische Glieder (Bündnerschiefer) durch ein Erosionsloch in den ostalpinen dolomitischen und kristallinen Decken entblößt hat. Der Massendefekt der Ostalpen verlängert sich in einer Bucht rheinaufwärts über den Oberalppaß durch das Urserental über die Furka bis ins Oberwallis. Dies ist die Zone des größten Tiefganges der Bündnerschiefer und der helvetischen Sedimente, welche zwischen den Stirnmassen der südlichen Deckenmassive und der nördlichen Schwelle der autochthonen Zentralmassive tief eingefaltet ist. Die Rolle, welche das sich dazwischen drängende Gotthardmassiv dabei spielt, ist noch nicht recht verständlich.

4. Die bisherigen Schweremessungen bestätigen kraftvoll unsere neuesten Auffassungen über den Aufbau der Alpen aus vorherrschend deckenförmig von Süden nach Norden überliegenden Falten. Je mehr liegende Falten noch erhalten übereinander gehäuft sind, und je größer infolge davon der Tiefgang der Faltung ist, desto größer zeigt sich auch der Massendefekt. Je tiefere Glieder im Alpenbau hingegen an die Oberfläche treten, wie das in den axialen Aufwölbungen (Tessin, Unterengadiner Fenster) oder auch in den Wurzelregionen der Fall ist, um so eher nimmt der Massendefekt ab. Bei Auffaltung direkt von unten („autochthone Faltung") müßte die Schwereverteilung ganz anders sein: Unter jedem breiten, mächtigen Gewölbe mit an Ort tiefgehenden Wurzeln müßte Massenüberschuß vorhanden sein, so unter der Dent-Blanche oder gar unter dem Dom des Monte Rosa und der Bernina, wo jetzt großer Massendefekt sich geltend macht. Im Triasgebiete vom Rhätikon, Vorarlberg und Tirol müßte die Schwere größer sein als westlich des Rheines, und unter dem Silvrettagebirge, wo jetzt ein Minimum vorhanden ist, müßten wir auf ein Maximum treffen.

Digitized by Google

Vielleicht wird es später noch gelingen, durch die Schweremessungen an Ort aufgefaltete Massive von Deckenmassiven zu unterscheiden, zu bestimmen, wie weit eine Faltendecke unter eine andere fortsetzt, ob verborgene überdeckte Wurzelnarben von Falten zu finden sind und ähnliches mehr.

Die Pendelmethode der Schwerebestimmung erinnert an die Perkussion bei medizinischen Untersuchungen. Indessen dürfen wir doch nicht allzu große Hoffnungen in ihre geologischen Erfolge legen aus folgenden Gründen: Je tiefer eine Dichteanomalie liegt, auf um so größere Ausdehnung wird sie an der Oberfläche wirken und ihre Wirkung wird mit der Tiefe, d. h. mit der Entfernung vom Pendel abnehmen. Die konisch nach oben gehenden Wirkungsgebiete benachbarter Stellen werden sich decken und mischen und es entsteht eine mittlere Resultante als Projektion der Dichtevariationen der Tiefe auf die Oberfläche. Was wir oben beobachten können, wird also stets ein sehr verwischtes Abbild der Dichteänderungen in der Erdrinde sein, vergleichbar dem Bild auf einer photographischen Platte bei mangelnder Einstellung. Selbst sprungweise Wechsel in der Dichte werden oben nur in Übergängen fühlbar sein. Im Querprofil ist dieses selbstverständlich noch mehr der Fall als im Längsprofil eines Kettengebirges, weil die Dichteänderungen im Querprofil rascher und mannigfaltiger sind. Vermehrte Genauigkeit der Pendelbeobachtungen kann hieran nichts verbessern.

Die Isostasie und die Einsenkung der Westalpen
(nach A. Heim).

Wir haben aus diesen Erscheinungen in den Alpen erkannt, daß Massenüberschuß mit Massendefekt in Beziehung stehen zur Aufwölbung tieferer dichterer Massen oder zur Überbürdung mit Rindenmaterial. Die Massenverteilung in der Tiefe paßt sich also dem Abtrag oder der Überbürdung in der Rinde an. Daraus ist zu erkennen, daß ein gewisses Gleichgewichtsbestreben in der Erdrinde besteht. Man hat diese Erscheinung mit dem Ausdrucke Isostasie bezeichnet. Die Einsenkung einer Bergregion möchte soweit gehen, bis die Gewichtsdifferenz zwischen dem in der Tiefe verdrängten dichteren Material und dem jetzt dort hineingesunkenen leichteren das noch vorragend gebliebene Gebirge schwimmend zu tragen vermag, wie es bei jedem zum Schwimmen eingetauchten Körper der Fall ist. Daß die Massen im Innern, gleichgültig ob fest oder geschmolzen, reichlich plastisch genug sind, versteht sich heute von selbst. Dennoch kann die isostatische Ausgleichung in der Erde einen vollkommenen Gleichgewichtszustand niemals erreichen: 1. weil die Ausgleichung durch die Festigkeits- und Reibungswiderstände stets stark verspätet wird; 2. weil Abschwemmung da und Aufschüttung

Digitized by Google

dort das annähernd erreichte Gleichgewicht immer wieder stört; 3. weil Eruptionen oder neue Dislokationen es fortwährend verändern.

Einige Geophysiker haben eine Zeitlang die meiste Gebirgsbildung auf Isostasie zurückführen wollen (Dutton u. a.). Sie sagten: Das Gebirge wittert ab, wird dadurch erleichtert, steigt auf; die Umgebungen werden durch seine Trümmer belastet und sinken ein; das Gebirge steigt immer mehr, die Umgebungen sinken immer tiefer, und es wurden Regionen in der Erdrinde namhaft gemacht, die dieser Auffassung anscheinend nicht widersprechen. Es sei nur erinnert an die tiefen Meergräben, welche längs der höchsten Küstenzonen der Kontinente sich erstrecken. Dieser Vorgang mußte aber bald in eine Umkehr sich wenden, indem unter und mit dem Gebirge auch die dichteren Massen emporsteigen.

Die Gebirgsbildung als Ganzes läßt sich nicht durch Isostasie erklären, weil diese nur zu relativen Vertikalbewegungen führt, während in den großen Gebirgen sich liegende Falten und Überschiebungen, also ein horizontaler Zusammenschub in der Erdrinde, als die maßgebendste und mächtigste Ursache der Gebirgsbildung erweist.

Darüber aber kann kein Zweifel bestehen, daß bei allen diesen großen Dislokationsgebirgen, und auch bei den Eruptivgebirgen, isostatische Bewegungen stattgefunden und sich wiederholt und wechselnd in Phasen zwischen den anderen Bewegungen vollzogen haben.

Jede größere Gebirgsbildung klingt nach unseren jetzigen Kenntnissen in isostatischen Bewegungen aus, die kaum jemals ganz zum Abschluß kommen. Sie sind bedingt durch das Gewicht der Berge (das Gebirge setzt sich) und das Bestreben der Erdrinde nach Gleichgewicht. Die Isostasie ist nicht eine primäre Ursache der Gebirgsbildung, sondern eine Folgeerscheinung derselben.

In Beziehung auf unsere Alpen im besonderen liegen eine Menge von geologischen Beweisen dafür vor, daß eine Einsenkung von einigen hundert Metern des fertig gefalteten Gebirgskörpers in seiner Gesamtheit mit seinen Randzonen als **Schlußphase** der ganzen Gebirgsbildung den eigentlichen Dislokationsbewegungen nachgefolgt ist.

So sind die Molasseschichten, welche sich von den Alpen bis über den Jura ausdehnen, als die verschwemmten Verwitterungsprodukte der sich entwickelnden Alpen abgelagert worden. Ihre Schichten fallen deshalb in der Abschwemmungsrichtung von den Alpen gegen NW. ab. Allein in der Nähe der Alpen sind sie rückläufig gebogen und weisen auf 10—20 km Breite 2—10° SSE. Fallen auf. Dies ist der Fall in

Digitized by Google

der Zone zwischen der ungefähren Linie Lausanne—Freiburg—Bern—Sempach—Horgen einerseits und der durch die Alpenstauung steil aufgefalteten oder überschobenen alpinen Randzone der Molasse anderseits. Die gleiche Erscheinung setzt sich in Bayern fort. In dieser rückfallenden Schichtlage können sie nicht entstanden sein, ihr Ursprungsgebiet muß seither eingesunken sein.

Heim weist ferner darauf hin, daß auch die Deckenschotter in der Region der rückläufigen Molasse gleichfalls rückläufig sind, dagegen die Ablagerungen der jüngeren Eiszeit, wie z. B. die Wallmoränen der letzten Vergletscherung, wieder gesetzmäßig fallen von den Alpentälern bis weit in das Molasseland hinaus. Sie überschreiten schief die rückläufigen Deckenschotter. Die Rückläufigkeit der Deckenschotter ist somit jünger als ihre Ablagerung, aber älter als die letzte Eiszeit. Sie ist interglazial. Weil der rückläufige Deckenschotter in der Zone der rückläufigen Molasse liegt, beweist er auch, daß die konforme Rückläufigkeit der unterliegenden Molasse nicht tertiäre Alpenfaltung, sondern diluviale Einsenkung bedeutet.

Die alpine Randflexur zeigt dann noch eine Reihe anderer Befunde auf, die für eine Einsenkung sprechen, und Heim führt auch die in dieser Zone liegenden Alpenseen, die man gewöhnlich mit Penk und Brückner als glaziale Seen ansieht, auf Ertrinken der Täler in der Einsenkungszone zurück.

Quantitative Prüfung der isostatischen Einsenkung der Alpen.

Es besteht kein Zweifel darüber, daß das isostatische Einsenken sich durch seitliches Ausweichen wohl meistens schon innerhalb der Tiefenzonen Sal und Sima ausgeglichen hat, ausnahmsweise mag es noch tiefer gehen. Nach unserer Kenntnis schätze ich (Heim), daß Gesteinszonen von im Mittel 2·6 spez. Gew. seit der Faltung nun denjenigen Ort einnehmen, wo vorher Gesteine von 2·7—2·8 spez. Gew. waren, daß Gesteinsmassen von im Mittel 2·7 Dichte solche weggedrückt haben, die 2·8 bis 2·9 aufwiesen usw. Die isostatische Einsenkung wird also das mittlere spezifische Gewicht für verschieden tiefe Stellen im Gebiete des Faltungstiefganges durchschnittlich um 0·1, höchstens um 0·2 vermindert haben.

Der Massendefekt unter einem Gebirge sollte nun gleich geworden sein einer Gesteinsmasse vom Volumen des Faltungstiefganges unter Meeresniveau und einem spezifischen Gewicht gleich dem Dichteunterschied zwischen einst und jetzt, d. h. vor und nach der isostatischen Einsenkung; denn in einem Volumen gleich dem Tiefgang des Faltungskörpers hat ein Ersatz durch leichtere Gesteine stattgefunden. Durch Einsetzen obiger Zahlen (siehe Seite 95) in diesen Gedankengang ergibt sich der wahrscheinliche Massendefekt unter der gemeinsamen Hauptzone

Digitized by Google

der Alpen, zugleich eingerechnet in die Einheit der Isogammenkarte

$$\frac{20\,000 \text{ bis } 25\,000 \times 0{\cdot}1 \text{ bis } 0{\cdot}2}{2{\cdot}4} = 830 \text{ bis } 2084 \text{ m im Mittel also } 1450 \text{ m.}$$

Die Pendelbeobachtungen ergeben 1300 bis 1600. Dies ist eine sehr gute Übereinstimmung.

Wir können auch einen einfacheren umgekehrten Gedankengang einschlagen, indem wir von der Annahme einer vollständigen Isostasie ausgehen: Nach dem Gesetz des Schwimmens weniger dichter Körper auf dichterer Flüssigkeit ergibt sich ganz einfach, daß ein Gebirge gerade noch mit soviel Masse über das allgemeine Niveau der Erdoberfläche hervorragen könne, als dem Massendefekt entspricht, der das Gebirge trägt. Das Vorragende muß soviel wiegen wie der Betrag, um welchen die durch den Faltentiefgang verdrängte Masse schwerer war als die an ihre Stelle gesetzte. Ob dies zutreffe, ist nicht schwer zu prüfen: Die Alpen der Zentralzone haben, ihr Volumen, Berg und Tal, ausgeglichen gedacht, in verschiedenen Regionen eine mittlere Meereshöhe von 1000 bis 2000 m, nur in wenigen Gruppen mehr. In die Skala der Schwerebestimmungen umgerechnet, ergibt dies in Gestein von 2·4 spez. Gew. 1125 bis 2250 m als isostatisch berechneter Massendefekt. Auch diese Berechnung zeigt, trotz der Fehlerquellen, die in den Bestimmungen liegen, unerwartet gute Übereinstimmung.

Die Alpen haben somit tatsächlich in der Hauptsache einen Gleichgewichtszustand in der Erdrinde erreicht.

Bei zirka 2000 m mittlerer Höhe haben die Mittelzonen unserer heutigen Alpen 10000 bis 25000 m Faltungstiefgang. Später werden wohl noch viel genauere zusammengehörige Zahlen für verschiedene Regionen festgestellt werden können. Hätte gar keine isostatische Einsenkung stattgefunden, so wäre fast der ganze Faltenhaufen über der mittleren Bodenfläche, d. h. ungefähr über Meeresniveau, aufgetürmt worden. Die Alpen könnten dann noch heute um diesen Betrag höher sein und wären ohne Abwitterung 30000 bis sogar 40000 m hoch zu werden bestimmt gewesen. Mehr als die Hälfte ihres Faltungskörpers liegt durch das eigene Übergewicht in die Erdrinde eingedrückt. Ein schwimmender Eisberg im Meere ragt mit etwa $^1/_5$ seiner Höhe über Wasser, $^4/_5$ bleiben unter Wasser. Auch die Alpen ragen nur mit einem Bruchteile ihrer Höhe auf, $^2/_3$ bis $^4/_5$ des noch nicht abgewitterten Körpers *(T)* sind in die Erdrinde versunken. Sie sind so tief versunken, bis das noch Vorragende *(O)* getragen werden konnte durch den hydrostatischen Auftrieb der tieferen dichteren Massen. Die Gebirge schwimmen auf den dichteren Kernmassen. Die gehemmte Beweglichkeit in der Erdrinde sorgt für Stabilität und Unvollkommenheit in der Isostasie. Je gewaltiger der Faltungstiefgang ist, desto höher können die Berge

Digitized by Google

sein. Im Himalaya, mit fast doppelten Höhen wie die Alpengipfel, ist ein wohl doppelt so großer Tiefgang der Falten zu erwarten. Auch dort treffen wir entblößt fast nur Sedimente und salische Gesteine, die Simagesteine nur in beschränkter Ausdehnung. Sicher ist bei allen Gebirgen ihre heutige Höhe nur ein ziemlich kleiner Bruchteil der Höhe, welche ihrem inneren Bau entspricht. Man kann sagen, die Berge sind viel höher und gewaltiger, als sie scheinen. Zwei Momente haben die Erniedrigung zustande gebracht: Überwitterung und Einsenkung. Der Betrag jeder dieser Vorgänge kann in Tausende von Metern gehen.

Auffaltung, Abwitterung und Einsenkung waren aber nicht nacheinander, sondern auch gleichzeitig nebeneinander in wiederholten wechselnden Phasen am Werke.

Isostatische Bewegungen und Abwitterung überdauern die Stauung und ruhen nicht, bis das Gebirge zur Ebene abgetragen ist; auch dann noch bleibt der innere Bau in Resten bestehen. So können wir auch heute noch in den paläozoischen Ketten unter der Tiefebene, unter der Decke flach übereinander liegender jüngerer Schichten, ein früheres alpenähnliches Gebirge erkennen, das in der äußeren Gestalt spurlos verschwunden ist durch Einsenkung und Abtragung.

Die Alpen sind nach Heim während ihrer Auffaltung von Tälern durchfurcht und reich gegliedert worden. Nach Befriedigung des Horizontalschubes, der selbst eine Wirkung des Gewichtes der Erdrinde ist und der es erzeugt hat, ist es in seiner letzten isostatischen Phase im mittleren Diluvium mitsamt seinen Tälern noch um einige 100 m eingesunken. Die Berge sind nicht 20000 bis 30000 m hoch, wie es ihrem Faltenbau entspräche, sondern nur 1000 bis 5000 m. Sie sind eingesunken auf einen Bruchteil ihrer Höhe. Die Ursache des Versinkens der Alpen in die Erdrinde liegt nach Heim in dem Gewichte des Gebirges.

Der Deckenbau der Ostalpen.

Während der Deckenbau der Westalpen allgemein anerkannt wird, ist dies in den Ostalpen nicht der Fall. Die Mehrzahl der ostalpinen Geologen steht heute noch, so wie früher, fremd dieser Anschauung gegenüber. Und doch ist der Deckenbau der Ostalpen genau so klar wie in den Westalpen, z. T. ist das ganze Phänomen noch weit gewaltiger.

Die ersten Anregungen gingen dazu von Lugeon, Haug und Termier aus. Letzterer, dann E. Suess, V. Uhlig und Kober haben Synthesen des Ganzen versucht. Im großen sind die Anschauungen ziemlich gleichlaufend. Es herrscht prinzipielle Übereinstimmung, im einzelnen mögen die Anschauungen auseinander gehen.

Digitized by Google

Wir können gegenwärtig vom Deckenbau der Ostalpen folgendes Bild seines Baues und seiner Genetik entwerfen.

Wir unterscheiden folgende Deckensysteme.

1. Die helvetischen Decken.

Darunter verstehen wir im allgemeinen die Flyschzone. Im Westen können wir sehen, wie tatsächlich die echten helvetischen Decken der Schweiz über den Rhein setzen, so die Decken des Säntis, und wie sie im Grünten wiederauftauchen. Diese Außenteile der Flyschzone am Westende der Ostalpen sind sicher echte helvetische Gesteine.

Anders steht es mit der inneren Zone, die sich unmittelbar an die Kalkalpen anschließt und die in irgend einem Zusammenhange mit den Schiefergesteinen des Prättigau stehen muß. Diese sind mit höheren westalpinen Decken (Niesendecke) parallelisiert worden. Sicher ist, daß wir es in der Innenzone des Flysches mit nicht helvetischen Elementen zu tun haben, sondern mit Serien, die den Übergang in die Klippendecken (der Westalpen) vermitteln.

Wie die Gliederung der Flyschzone im Osten ist, das ist noch eine Frage. Wir können nur sagen, daß der an die Molasse anschließende Außenteil offenbar mehr autochthone Züge aufweist, als die Innenseite, die an die Kalkalpen anschließt und die wieder durch das Vorkommen der Klippen (St. Veit) ausgezeichnet ist.

Im Osten stellen sich auch Anklänge an karpathische Züge ein. Die Flyschzone erweitert sich. Die Außenzone des Flysches westlich und östlich des Donaudurchbruches bei Wien stellt sicher eine Einheit dar. Ähnlich ist es auch mit der Innenzone. Die Klippen von St. Veit bei Wien sind die letzten typischen Reste des karpathischen Klippenzuges, der einen integrierenden Bestandteil im Bild der Karpathen bildet.

Innen- und Außenzone sind sicherlich faziell und tektonisch getrennt. Bei Wien wird die Außenzone durch den Greifensteiner Sandstein gebildet, der Hauptsache wohl aus Eozän bestehend. Die Innenzone ist mehr differenziert. Hier nimmt die Kreide am Aufbaue in größerer Entwicklung teil. Hier liegen auch die Klippen.

Die Außenzone dürfte auch bis zu einem gewissen Grade mit der Molassezone in stratigraphischem Verbande stehen oder gestanden haben, wenigstens im Osten. Die Überschiebungen der Flyschzone über die Molasse scheinen keine so großen zu sein, freilich ist hier auch der tektonische Einblick ein recht geringer.

Die Innenzone des Flysches dürfte eher mit den Kalkalpen zu verbinden sein, da sich in den Kalkalpen, besonders in den Außenzonen derselben, Oberkreideablagerungen finden, die z. T. recht flyschähnlich sind. Die Gegner der Deckenlehre der Ostalpen behaupten sogar, daß die Flyschzone in „Buchten“ in die Kalkzone eingreift, so an der Enns

Digitized by Google

(bei Weyer). Diese Verhältnisse sind leider bisher noch nicht eingehend geprüft worden. An einigen Stellen konnte die Unmöglichkeit dieser Anschauung schon dargetan werden. Zweifellos besteht zwischen Flysch- und Kalkzone eine scharfe tektonische Kluft, dabei können trotzdem stratigraphische Beziehungen zwischen beiden vorhanden sein (Gosau-Flysch). Wahrscheinlich stellt sich die Klippenzone verbindend zwischen die Kalk- und Flyschzone.

Die Flyschzone als Ganzes bildet vor den eigentlichen Ostalpen ein relativ schmales ununterbrochenes Band west-oststreichender Sandsteinzüge kretazisch-tertiären Alters. Sie ist der relativ bodenständigste Teil der Ostalpen, mehr oder weniger an der Stelle ihrer gegenwärtigen Position entstanden, zu einer Zeit, als eben die Kalkalpendecken bereits über die penninischen Decken der Ostalpen nach Norden gewandert waren, also in einer Art Geosynklinale zwischen der böhmischen Masse im Norden und den Kalkalpendecken-Inselzügen im Süden. Die Flyschzone enthält seichtere und tiefere Ablagerungen, wie sie eben in einer Vortiefe sich bilden. Die Flyschzone zeigt ihrem tektonischen Bilde nach eine offenbar weitgehende Deformierung, derart, daß das so leicht faltbare Material in Falten, Schuppen, Decken zusammengestaut ist.

2. Die penninischen Decken.

Darunter verstehen wir in den Ostalpen jene Deckensysteme, die im Fenster des Engadin und in den Tauern zum Vorschein kommen. Diese Decken sind die Äquivalente der penninischen Decken der Westalpen. Früher hatte man sie als „lepontinisch“ bezeichnet.

Sie bilden eine Einheit und schließen sich ganz und gar den echten penninischen Decken der Westalpen an, deren Fortsetzung sie eben sind. Die westalpinen penninischen Glieder sinken an der Rheinlinie unter die ostalpinen Deckengesteine unter, kommen aber im Engadiner-(Gargellen-)Fenster in ihren höheren Gliedern fast unverändert wieder ans Tageslicht.

Die penninischen Decken der Ostalpen erscheinen im eigentlichen Tauernfenster, in den Zentralgneismassiven des Hochalm- und Ankogelmassivs, des Sonnblickmassivs, im Granatspitzkern, in der westlichen Zentralgneismasse der Venediger Gruppe und der Zillertaler-(Tuxer-) Gruppe.

Diese Einheiten zeigen — genau so wie in den Westalpen — wahrscheinlich karbone Granitmassen, die durch die (alpine Metamorphose der) Deckenbewegungen zu Gneisen geschiefert wurden, ein spärliches Paläozoikum, ein Mesozoikum, das durch Quarzite, Kalke und Dolomite der Trias, vielleicht des Jura, dann durch Kalkschiefer, Schiefer und Phyllite bestimmt wird. Fossilien sind bisher keine daraus bekannt geworden.


Digitized by Google

Bestimmend für dieses Alter erscheint uns der sichere Zusammenhang der Bündner Schiefer mit den fossilführenden Schistes lustrés der penninischen Alpen.

Die Zentralgneisdecken sind durch eine hochgehende Metamorphose ausgezeichnet, durch einen Deckenbau und durch nach Norden getriebene Falten, genau so wie im Simplon, erzwungen unter hohem Druck. Die Zentralgneisdecken haben den Bauplan echter Tiefendecken (Tauchdecken), entstanden im plastischen Zustande in bedeutenden Tiefen bei weitgehender molekularer (regionaler) Metamorphose.

Die Schieferhülle des Tauernfensters (auch im Fenster des Engadin) ist eine homogene Masse indifferenter Kalkmassen, Schiefermassen, mit Grünschieferzügen, Serpentinen, mit denselben Charakteren wie in den Westalpen. Der größte Teil dieser Schieferhülle ist wahrscheinlich mesozoischen Alters, vermutlich Trias-Unterkreide. Möglicherweise sind auch Teile der Schieferhülle paläozoisch. Dazu könnten eventuell schwarze Schiefer im Tauernfenster gestellt werden. Im großen und ganzen wird aber an dem mesozoischen Alter der Schieferhülle festzuhalten sein. Übrigens wenn auch die Schieferhülle der Tauern paläozoisch wäre, so würde das die Deckenlehre in den Ostalpen absolut nicht zu Falle bringen; denn die Tauern sind und bleiben ein Fenster, derart, daß alte kristalline Massen sich von Süden nach Norden über jüngere Kalk- und Schiefermassen (eben die Schieferhülle) gewälzt haben. Diese jüngeren Schiefer, seien sie nun paläozoisch oder mesozoisch, kommen im Fenster durch die Erosion eben zum Vorschein.

Die Granite sind intrusive Massen. Stellenweise lassen sich noch Teile des Daches der Granitlakkolithen festhalten. Becke, Berwerth, Löwl und Grubenmann haben von jeher darauf hingewiesen. So finden sich echte Randzonen des Granites, basischer und saurer Natur, förmliche Aufschmelzungszonen anzeigend. Über diesem Dache liegt lokal noch rudimentäres Paläozoikum. Fehlt aber meist.

Über diesen verschiedenen Gliedern der tieferen Schieferhülle folgt die junge mesozoische Serie mit Quarzit und Dolomit und Kalk. Speziell diese Serie wird als mesozoisch aufgefaßt und gleichgestellt den analogen Gesteinen der Schweiz (Simplon).

Im östlichen Tauernfenster bildet nach meinen Forschungen die Ankogelmasse die tiefste Decke. Über ihr liegt die Hochalmdecke. Noch höher liegt die Sonnblickdecke, von der die Modereckdecke eine kleinere Spaltdecke ist. Bemerkenswert an dieser Decke ist, daß sie von Stark und Kober auf eine Länge von 20 km verfolgt werden konnte und dabei nicht mächtiger als 500—1000 m ist. (Fig. 23, Seite 126.)

Im westlichen Teile der Tauern haben die Studien von Becke, Löwl, dann von Sander beigetragen, das Verhältnis des westlichen Tauernfensters zu der östlichen Hälfte verstehen zu lernen. Die

Digitized by Google

Gneismassen des westlichen Tauernfensters zeigen zwei Hauptkerne, die als Zillertaler- und als Tuxerkerne unterschieden worden sind. Von letzterem ist noch wahrscheinlich als ganz selbständige Zone eine Masse abzuscheiden, die wir hier als Ahornspitzkern bezeichnen wollen.

Dieser Kern wird nämlich durch eine Glimmerschiefermasse südlich der Ahornspitze deutlich vom Hauptkern der Tuxermasse geschieden. Es kann heute mehr kein Zweifel bestehen, daß auch die Tuxer- und Zillertalermassen tektonisch voneinander geschieden werden müssen, wenngleich sich vielleicht nicht immer Glimmerschiefermassen als trennende Zone nachweisen lassen.

Aber tektonisch sind es selbständige Zonen. Das zeigt die streng gerichtete Anordnung, dann das eigenartige Ausspitzen der Kerne am östlichen und westlichen Ende. Wir glauben diese Kerne heute schon als die Kopfteile hochsteigender Decken ansprechen zu können und scheiden drei solcher Deckenmassen aus, nämlich die Ahorndecke, die Tuxer- und die Zillertalerdecke.

Es ist auffallend, daß wir auch am Westende des Tauernfensters im großen und ganzen zur Dreigliederung des Ostens kommen. Ja, wenn wir bedenken, daß auch in den penninischen Decken der Westalpen auf weite Entfernungen hin immer und immer wieder nur drei Decken sich nachweisen lassen, nämlich (zu tiefst) die Simplondecken, die Decke des Großen St. Bernhard, die Monte Rosadecke, so werden wir doch erstaunen über die großen Züge der Tektonik der penninischen Decken und werden wohl annehmen können, daß diese verschiedenen Decken einander entsprechen, derart, daß vielleicht Ankogel-, Ahorn- und Simplondecke in eine Reihe kommen, dann Hochalm-, Tuxer- und St. Bernharddecke. Dann wäre die Sonnblickdecke der Zillertaler- und der M. Rosadecke gleichzustellen.

Fassen wir die Hauptzüge der penninischen Gliederung der West- und Ostalpen in die Augen, so sehen wir in den Westalpen zwei Hauptmassen, die Bernhard- und die Mt. Rosadecke. In den Ostalpen bilden im westlichen Tauernfenster sich zwei Kernmassen heraus, der Tuxer- und der Zillertaler-Kern. Im Osten wird das Gros der Zentralgneismassen vom Ankogel- und vom Hochalmmassiv gebildet.

Genaue tektonische und stratigraphische Untersuchungen der Zukunft werden hier zweifellos Aufklärung bringen.

Im Engadinerfenster fehlen die Gneismassen im allgemeinen. Die Schieferhülle, die Bündnerschiefer bilden das Gros des Fensters. Im Gegensatz zum Tauernfenster finden sich im Engadin unter dem kristallinen Rahmen noch jungkretazische Gesteine von Flysch-Charakter. Solche Bildungen sind bisher aus dem Tauernfenster nicht sicher bekannt. Die jüngeren Gesteine sind auch keine penninischen Gesteine, sondern ostalpine, und gehören zu den unteren ostalpinen Decken.

Digitized by Google

Diese Gesteine zeigen auch nicht die hohe Metamorphose der echten penninischen Schiefer.

Das Engadinerfenster liegt etwas nördlicher im Vergleich zum Tauernfenster. Es liegt mehr gegen das helvetische Gebiet zu, analog etwa der Bedrettomulde südlich Aar- und Gotthardmassiv. Deshalb können hier auch nicht mehr die Gneismassen zum Vorschein kommen.

3. Die unteren ostalpinen Decken.

Diese Decken erscheinen über den penninischen Decken und unter der Hauptmasse des ostalpinen Grundgebirges. Im Engadiner Fenster als schmale Schuppungszonen, unter dem Kristallin, im Tauernfenster als relativ mächtige, weithin zu verfolgende Decken, im Semmering wieder als typisches Glied, hier die Verbindung herstellend mit den hochtatrischen Decken der Karpathen.

An der Grenze von Ost- und Westalpen spielen die unterostalpinen Decken eine hervorragende Rolle im ganzen Gebiete von der Bernina bis zum Ortler und zu den Bergen von Arosa.

Hier hat in letzter Zeit R. Staub eine weitreichende klare Synthese des Deckenbaues gegeben. (Zyndel.)

Über den Bündnerschiefern der Tambo- und Surettadecke folgt die Margnadecke als das Äquivalent der Dent-Blanchedecke mit Prättigauschiefer, dann folgt die Err- und Selladecke, dann die Languard- und endlich die Campodecke. Diese ist die mächtigste. Sie baut die Engadiner Dolomiten. Über ihr liegt noch die obere ostalpine Decke der Silvretta. Sie liegt in einzelnen Deckenresten noch im Ortler, in der Lischanagruppe.

Im Gebiete des Brenner gehört meines Erachtens zur unterostalpinen Decke alles Mesozoikum mit Ausnahme der Kalkkögelgruppe bei Innsbruck. Diese gehört wahrscheinlich ins Hangende der Ötztaler Masse. Sie ist dann ein Analogon zur Triasinsel des Endkopf, gehört also bereits zur oberen ostalpinen Decke.

Die Brennerdecken sind unterostalpin, liegen unter dem Kristallin der Silvretta. Dieses ist das theoretisch geforderte Bild. Tatsächlich sieht man auch die Telferweiße, die mit der Tribulaungruppe zusammenhängt, vom Kristallin überschoben (Termier). Das Brennermesozoikum wird von alten Phylliten (Karbon) überdeckt, aber das Mesozoikum selbst ruht auf der kristallinen Basis scheinbar primär auf. Dies widerspricht der theoretischen Lagerung. Wir müssen annehmen, daß das Brennermesozoikum etwas über das Kristallin der Silvretta hinweggetreten ist. Dies hat Suess schon behauptet. Wir haben uns die Verhältnisse so zu denken, daß die obere ostalpine Decke der Silvretta hier aushebt. Unter der schweren Masse des Ötztaler Kristallin ist am Rande die untere ostalpine Decke des Brenner förmlich herausgequollen. Daß diese

Digitized by Google

Decke tatsächlich aber darunter liegt, zeigen die Triasdolomite der Karlweißen bei St. Martin am Schneeberge in Tirol. Die unterostalpinen Decken stirnen im allgemeinen im Brennergebiet. Dies gilt auch für die Schollen des Taruntaler Gebietes. Hier sind die echt unterostalpinen Schollen förmlich vom Quarzphyllit (Karbon) umfangen.

Ihre Fortsetzung geht über Krimml nach Osten in die Radstätter Tauern. Hier waren sie in der letzten Zeit der Ausgangspunkt neuer Forschungen. (Uhlig, Becke, Stark, Kober, Trauth u. a.)

Es ist ein tektonisch wie stratigraphisch überaus schwieriges Gebiet, das heute vielleicht in folgender Weise gedeutet werden kann.

Die Radstätterdecken zeigen in ihren tieferen Teildecken eine noch hohe Metamorphose. Dies gilt besonders für das Gebiet der Radstätter Tauern. Das Grundgebirge wird von Graniten gebildet, dann folgt eine Quarzit-Schieferserie von wahrscheinlich permisch-untertriadischem Alter. Dieses Schichtglied entspricht bis zu einem gewissen Grade dem Werfener Schiefer der Kalkalpen (stratigraphisch). Vielleicht gehören hellere und dunklere Kalke in die untere Trias. Diploporendolomite der Trias sind bekannt, dann Rhät, dann Kalke und Kalkschiefer mit Belemniten (Pyritschiefer). Wie weit die Schichtfolge nach oben reicht, ist unsicher. Ganz auffallende Glieder sind Brekzien, z. T. sicher sedimentär, z. T. rein tektonisch (Schwarzeckbrekzie).

Die Tektonik ist eine komplizierte. Um diese Komplikationen zu erklären, hat man zur Verfaltung der Radstätterdecken mit dem darüber folgenden ostalpinen Kristallin Zuflucht genommen. Vielleicht ist eine einfache Erklärung möglich. Diese Verfaltung ist von E. Suess vom Brenner ausgegangen, ist dann für die Radstätter Tauern akzeptiert worden. Man glaubte (V. Uhlig) die mit dieser Verfaltung verbundene inverse Lagerung der Serien auch im Semmering nachweisen zu können. Die Schwierigkeiten liegen z. T. in der schweren Unterscheidbarkeit der Schichtglieder und in der totalen Zertrümmerung der Gesteine. Die Radstätterdecken, besonders im Radstätter Tauerngebiet selbst, sind in ihrer Gesamtheit tektonische Trümmerhaufen. Das ganze Gebirge, das ganze Deckensystem ist gleichsam eine Brekzie. Die enorme tektonische Zertrümmerung, Durchbewegung der Radstätterdecken ist der sicherste Beweis für ihre Deckennatur, für den Deckenbau der Ostalpen.

Die große Komplikation im einzelnen löst sich befriedigend vielleicht derart, wenn wir als Schema einfache nach Norden getriebene Falten annehmen. Wir unterscheiden eine tiefere Radstätterdecke und eine höhere, dann eine penninisch-ostalpine Mischungszone an der Basis der tieferen Decke. Das Twenger Kristallin gibt die Trennung zwischen der tieferen und höheren Decke. Die tiefere Decke zeichnet sich durch den Reichtum an Brekzien aus. Die obere Radstätterdecke hat schon mehr ostalpine Anklänge.

Digitized by Google

Die tiefere Radstätterdecke geht nach Westen, gegen Lend zu in die Klammdecke über, die viel höhere Metamorphose hat und auch als penninisch-ostalpine Mischungszone bezeichnet werden könnte. Die obere Radstätterdecke ist hauptsächlich in den eigentlichen Radstätter Tauern entwickelt und tritt im Fenster fast bis an die Enns bei Radstatt vor. Hier hat sie eine Breite von 30 km. Weiter westlich aber geht sie rasch nach Süden zurück und findet sich nur mehr in kleinen Deckschollen.

Die Radstätterdecken lassen sich fast im ganzen Tauernfenster verfolgen. Stellenweise setzen sie aus, so z. B. in der Südostumrahmung des Fensters. Im Süden aber sind sie fast im geschlossenen Zuge von Heiligenblut in Kärnten nach Tirol zu verfolgen. Die Decke taucht hier mit Südfallen unter das Altkristallin der ostalpinen Grundgebirgsdecken ein. Weitgehende Zermalmung ist das Charakterbild der Decke. Dolomitschollen schwimmen zwischen Schieferhülle und dem darübergehenden Grundgebirge. Grüngesteine stellen sich ein.

Das sind die tieferen Zonen der unterostalpinen Decken. Zu dieser Decke haben wir noch die Kalksteiner Wurzeln (bei Sillian) zu rechnen. Diese liegen bereits im Hangenden des Kristallin, also analog der Ortlertrias.

So haben wir in der unterostalpinen Decke jedenfalls die Hangendserie theoretisch von einer Liegendserie zu trennen. In den Kern der Antiklinale gehört das Kristallin südlich der Linie Heiligenblut—Matrei bis an die Kalksteiner Wurzeln. Diese setzen offenbar über Mauls gegen Südwesten fort, Verbindung fordernd mit den unterostalpinen Wurzeln der Ortlerdecke in der Addalinie (Sondrio—Vezza).

Die unterostalpinen Glieder sind im allgemeinen stratigraphisch in den Ostalpen charakterisiert durch granitisches (vergneistes) Grundgebirge mit wenig kristallinem Schiefer, spärlichem Paläozoikum (Karbon), lückenhaftem neritischen Mesozoikum, Quarzit, Dolomit, Kalke, Brekzien, Schiefer usw. Je tiefer die Decke liegt, desto höher die Metamorphose.

Diesem Unterostalpin fehlen gewisse typische ostalpine mesozoische Gesteine, so die Dachsteinkalke, die Klauskalke, das Neokom, die Gosau. In neuerer Zeit sind auch am Brenner endlich Radiolarite bekannt geworden, als Zeichen dafür, daß man es am Brenner, wie lange schon zu vermuten war, in den mesozoischen Ablagerungen mit Gebilden zu tun hat, die mit ostalpinen durch Übergänge verbunden sind. Sie sind eben tiefste ostalpine Teile, die der Hauptsache nach unter die kristallinen Gesteine, unter das Paläozoikum der Grauwackenzone zu liegen kommen.

Die Unterlagerung der höheren ostalpinen Deckenmassen durch die Radstätterdecke ist der klarste Beweis für die Fensternatur der Tauern.

Digitized by Google

Im Semmering erscheint die Radstätterdecke abermals, hier schon mit z. T. anderen Merkmalen. Charakteristisch ist das Hinüberleiten zu der hochtatrischen Serie der Karpathen. Die Semmeringdecken sind durch große Massen von Grundgebirge ausgezeichnet, das der Hauptsache nach, die Mürztaler Alpen bis etwa gegen Bruck a. d. Mur aufbaut. In einzelnen Decken (Kerndecke nach Mohr) findet sich fast nur Granit, genau so wie in der echten hochtatrischen Decke der Karpathen. Das Mesozoikum ist ähnlich wie in den Tauern; nur fehlen die Brekzien. Die Schichtfolge besteht aus: Quarzit, Dolomit, Kalken, rhätischem Schiefer, Kalkschiefer mit Kalken des Jura. Man glaubte gegen die tieferen Gesteine des Wechsels zu inverse Lagerung zu erkennen, in den Decken des Wechselfensters metamorphe Grauwackenzone zu finden. Diese Verhältnisse sind noch wenig geklärt. Vielleicht werden gewisse tiefere Gesteine der Wechseldecke noch als Altkristallin erkannt. Über diesen Gesteinen folgen Quarzphyllite mit Schiefern (Karbon?). Diese gehen über in Quarzit und darauf folgte das Mesozoikum in normalem Verbande. Dann lösen sich viele Schwierigkeiten und das Semmeringfenster wird ebenfalls in eine Reihe normaler, nach Nord getriebener Decken aufgelöst.

Die oberostalpinen Decken.

Diese bilden den Hauptkörper in den Ostalpen.

Es ist ein gewaltiger Deckenhaufen, das alte Grundgebirge der Ostalpen aufbauend, gewisse im allgemeinen tiefe Teile der Grauwackenzone und die sogenannten Kalkvoralpen.

Dem alten Grundgebirge gehören an: die altkristallinen Massive des Bösenstein, der Schladminger Masse, des Koralpenzuges, das Stangalpengebiet, die Polinik, Kreuzeckgruppe (?), die Ötztaler-, die Stubaier Alpen, das Silvretta-Massiv, das ganze Grundgebirge der Ostalpen bis an die Grenze der Dinariden (Dinarische Narbe). In sich selbst ist es wieder durch Kalk- und Schieferzüge zerteilt, wahrscheinlich in Teildecken aufgelöst, unter- und überlagert von paläozoischen und mesozoischen Ablagerungen. Die unterlagernden kommen mehr im Westen an der Rheingrenze zum Vorschein, so unter der Silvretta, in der sogenannten unterostalpinen Decke.

Die überlagernden paläozoischen Glieder kommen der Hauptsache in geschlossenem Zuge in der Grauwackenzone zum Aufbau, dann in einzelnen Resten inmitten des Kristallin, z. B. in den Murauer Alpen, wo durch Tornquist echt alpiner Deckenbau aufgezeigt worden ist, in der Stangalpe, dann unter dem Mesozoikum der kärntnerischen Inseln von St. Paul, Guttaring, dann als die Basis des Gailtalerzuges und der Karawanken. Gegen Westen verschwindet das Paläozoikum immer mehr,

Digitized by Google

dürfte aber doch in der Schieferserie nördlich der Tonalelinie (Ultental) vorhanden sein.

Diese paläozoischen Ablagerungen enthalten die Nötscher Schichten (Unterkarbon, dann das Karbon der Veitsch). Devonische Ablagerungen sollen im Triebenstein vorliegen. Silur ist nicht bekannt. Im allgemeinen hat man es mit einer Schichtfolge zu tun, die früher allgemein mehr als jungpaläozoisch angesehen worden ist, als Karbon. Es ist ganz gut möglich, ja wahrscheinlich, daß auch tiefere Glieder vorhanden sein werden. Die Hauptmasse der Graphitschiefer, der Phyllit mit den oberkarbonen Pflanzen von Mautern usw. dürfte aber doch dem Jungpaläozoikum zufallen. Die Erweiterung der Schichtfolge ändert natürlich gar nichts an der Deckenstruktur dieser Zonen.

Wo wir Mesozoikum durch Verbindung dieser Schiefer mit dem Grundgebirge zusammentreten sehen, gleichsam im stratigraphischen Verbande, dort finden wir überall die sogenannte voralpine Serie des Mesozoikum, d. i. die Entwicklung, wie sie in den Karawanken, dann in St. Paul, dann überall in den Ketten der Kalkvoralpen zutage tritt.

Die Schichtfolge ist im allgemeinen eine neritische, ausgezeichnet durch den Wechsel von Kalk und sandig-schieferigen Horizonten. Buntsandstein, Werfener Schiefer an der Basis der Trias. Dann folgen dunkle Kalke (Guttensteiner Kalk), dann häufig hellere Kalke mit Dolomitmassen (Reiflinger Kalk, Wettersteinkalk und -Dolomit), dann Schiefer und Sandsteinzonen, Raiblerschichten, Lunzersandstein, Carditaschichten, dann Hauptdolomit, Platten-(Dachstein-)Kalk, Rhät, Fleckenmergel, Hierlatzkalk, Adneterkalk, Klauskalk, Akanthikusschichten, Radiolarit des Oberjura, Neokom, dann kommt die große Diskordanz. Die Oberkreide, Gosau, setzt mit Konglomeraten, Sandsteinen, Schiefern ein, z. T. flyschähnlich.

Eine Reihe von Teildecken lassen sich von der oberostalpinen Stammdecke loslösen. Im Westen ist das ostalpine Grundgebirge in eine Reihe von Teildecken aufgelöst worden. Im Osten mehr die eigentliche Kalkalpenzone. In Tirol lassen sich in der Kalkalpenzone die Allgäuerschubmasse, die Lechtaldecke, die Inntaldecke, im Osten von Norden gegen Süden: die Klippendecken, die Frankenfelser, die Lunzerdecke, dann die Ötscherdecke scheiden (Ampferer, Kober).

Der allgemeine Zug der Differenzierung ist stratigraphisch der, daß gegen Süden die Decken immer kalkiger werden, sie kommen aus tiefen Teilen der Geosynklinale, sie leiten zu den bathyalen Ablagerungen des Mesozoikum der hochostalpinen Decken. Tektonisch sind die äußersten (Klippen-)Decken, Schubsplitter, wenig mächtig, nur aus jüngeren Gliedern bestehend. Je weiter nach innen, desto ruhiger wird der Bau der Decken, desto vollständiger wird der Schichtkörper. Der

Digitized by Google

Werfener Schiefer ist der Gleithorizont der Decken. Die Decken selbst sind im allgemeinen Abscherungsdecken, sie haben ihre kristalline Unterlage verlassen, ihr Bau selbst ist wieder sehr abhängig von den folgenden Decken. Durch das Aufschieben jüngerer höherer Decken, z. B. der hochostalpinen, kann der Faltenbau der voralpinen Ketten genügend geklärt werden. Es ist ein einheitlicher Bau, der die voralpine (tirolisch-bayerische) Entwicklung beherrscht. Überschiebungen spielen eine große Rolle. Die Gosau ist, wie man an den glänzenden Aufschlüssen in Tirol sieht, in den Profilen von Hammer und Ampferer, wie jedes andere Schichtglied in die Tektonik mit einbezogen. Der ganze Faltenbau, der Deckenbau ist zweifellos nachgosauisch. Der gleiche Bauplan zeigt sich auch im Osten (Kober).

Der tektonische Bau in den Kalkalpenketten ist trotzdem ein viel ruhigerer.

Im östlichen Teil der Kalkalpen hat die Frankenfelserdecke ganz geringe Mächtigkeit. Sie nimmt den Charakter einer Klippenzone an. Gegen Kirchberg zu wird sie wieder mächtiger. Ihre größte Mächtigkeit erreicht sie an der Enns. Hier setzt die Decke wahrscheinlich den Zug des Gamsstein zusammen. Nördlich der Enns gehört zur Frankenfelserdecke jedenfalls der Jochbergzug und der Zug des Hochbuschberg bei Leonstein. Die Grenze der Decke geht offenbar durch die Neokom-Gosaumulde, die bei Losenstein durchzieht.

Gegen das Höllengebirge verschwindet die Frankenfelserdecke. Sie kann erst jenseits des Stauffen westlich von Salzburg heraus kommen. Ihre Abgrenzung gegen die folgende Decke ist mir nicht bekannt.

Die Lunzerdecke ist die Decke, die im Osten südlich der Linie Mödling (Brühl), Altenmarkt, Weyer liegt. Westlich der Enns gehört hierher das ganze Gebiet zwischen Losenstein und dem Sengsengebirge, dann das Fenster des Weisseck- und Steinkogelgebietes. Hahn hat schon die Vermutung ausgesprochen, daß diese Gebiete Fenster unter dem Muschel- und Wettersteinkalk des Kaßbergzuges sind.

Obwohl ich selbst noch nicht Gelegenheit gehabt habe, diese Gebiete besuchen zu können, bin ich auf Grund eingehender Untersuchungen des Kartenmateriales, das von G. Geyer herausgegeben worden ist, ebenso wie Hahn zur Überzeugung gekommen, daß hier tatsächlich solche Strukturen vorkommen.

Ja, man kann sagen: Die schönsten Deckschollengebiete der Voralpen des Ostens werden hier wahrscheinlich erschlossen werden.

Die Lunzerdecke tritt unter dem Höllengebirge als Langbatscholle (Pia) hervor, verschwindet dann auf kurze Strecke und setzt im Stauffen wieder an. Hier geht sie meiner Meinung nach über das Hochfellngebiet in die Allgäudecke des Westens über.


Digitized by Google

Die Ötscherdecke liegt südlich der Linie Brühl-Altenmarkt an der Enns. Besonders typisch für diese Decke ist der Wettersteinkalk. Ihm gehören zu, zugleich scharfe Deckengrenzen bildend, der Peilstein im Triestingtale, dann der Gamsstein (Ötschergebiet), dann das Sengsengebirge, das Höllengebirge, der Stauffen.

Weiter taucht dann der Wettersteinkalk gegen Westen unter. Seine Fortsetzung liegt wahrscheinlich in der Tiefe des Untergrundes zwischen der Karwendelmulde und dem Nordrande der Lechtaldecke.

Der Wettersteinkalk des Stauffen setzt nicht, wie Hahn glaubte, im Kaisergebirge fort. Das ist nicht richtig. Der Wettersteinkalk des Kaisergebirges liegt tektonisch höher und muß vom Stauffen durch die Fortsetzung der Karwendelmulde getrennt werden. Die Fortsetzung des Neokom glaube ich über die Kreide von Gwendt bis zum Neokom des Kammerkehrgebirges annehmen zu müssen. Neuere geologische Untersuchungen werden hier Aufklärung bringen. Es ist sehr wahrscheinlich, daß wir die Ötscherdecke der östlichen Kalkalpen der Lechtaldecke des Westens gleich zu stellen haben.

Auf den ersten Blick wäre es freilich verlockend, die Allgäudecke mit der Frankenfelserdecke zu parallelisieren, dann die Lechtaldecke mit der Lunzerdecke, die Inntaldecke mit der Ötscherdecke.

Diese Verbindung wäre richtig, wenn die tektonische Fortsetzung des Stauffen der Zahme Kaiser wäre. Das ist, wie gesagt, nicht der Fall und daran scheitert auch die Gliederung der Kalkalpen, die Hahn versucht hat.

Die Ötscherdecke gibt nach Norden über die Lunzerdecke auf weite Strecken hin Deckschollenreste ab. Es kann kein Zweifel mehr sein, daß die Wettersteinkalke bei Weyer, bei Losenstein, bei Grünau (besonders der Traunstein) Deckschollen sind, weit nach Norden vorgetragen. Diese Deckschollen stammen von den Wettersteinzügen des Sengsengebirges, des Gamsstein und sind ein Analogon zu den Wettersteindeckschollen des Hochplattengebietes in Bayern. Broili hat letztere Verhältnisse aufgezeigt. Hier stammen die Wettersteinschollen aus dem Kienberg-Rauschbergzuge.

Von der Enns bis an den Inn läßt sich eine einheitliche Deckschollenlandschaft aus Wettersteinkalk auf der Nordseite der Kalkalpen erkennen.

Die nächst höhere Decke bildet in Tirol die Inntaldecke. Auf der liegen noch kleinere Reste einer höheren Schubmasse, die Ampferer Krabachjochdecke genannt hat.

Zur Inntaldecke rechne ich mit Schlagintweit auch die Wettersteinscholle. Die Wamberger Scholle bildet meiner Auffassung nach einen Schubfetzen der Lechtaldecke, der von der Inntaldecke an ihrer Stirn von Süden her mitgenommen worden ist.

Digitized by Google

Die Wamberger Scholle stammt demnach nicht direkt aus dem Untergrunde. Sie ist kein Fenster, sondern kommt von Süden her, die Lechtaldecke überfahrend, nachdem sie von der Inntaldecke als Schubfetzen aus der Lechtaldecke oder aus der Allgäudecke abgerissen worden ist.

Die Inntaldecke reicht meiner Auffassung nach bis zum Kaiser. Hier schwimmt zum letzten Male die Inntaldecke auf der Lechtaldecke. Die Gosau im Süden des Kaisergebirges (Eibergerscholle) ist, glaube ich, die Fortsetzung der Gosau des Sonnwendgebirges, also ein Fenster.

Kaiser, Guffert, Unnutz, Karwendel, Wetterstein und Mieminger sind (meiner Auffassung nach) Teile der Inntaldecke.

Die Abgrenzung der Inntaldecke von der Lechtaldecke hat bisher in diesem Gebiete Schwierigkeiten gemacht, insofern, als die Wettersteinkalke durch Raiblerschichten mit dem liegenden Hauptdolomit verbunden zu sein scheinen. Schlagintweit hat hier bereits tektonische Kontakte von Hauptdolomit zu Hauptdolomit angenommen. Dies-Verhältnis mußte auch zugegeben werden, um so mehr, als wir so oft Liegendschenkel von Raibler Schichten und ein wenig Hauptdolomit an der Basis der Wettersteinkalke finden. Das zeigt sich im Höllengebirge, im Sengsengebirge und an anderen Orten.

Die Inntaldecke endet im Kaiser. Ihre Fortsetzung liegt nicht im Osten über den Loferer- und Leoganger Steinbergen, sondern weit im Süden, im Drauzug, bei Lienz. Hier setzt meiner Auffassung nach die Inntalserie weiter fort, aber in der Wurzelzone liegend. Sie ist nicht mehr nach Norden vorgetragen worden und bildet heute einen klaren Beweis für die Zusammengehörigkeit der nördlichen Kalkalpendecke mit dem Drauzuge.

Infolge dieser Verbindung der Decken haben wir die Wurzeln der Lechtaldecke nördlich des Drauzuges im oder auf dem Kristallin zu suchen. Natürlich noch nördlicher auf dem oberostalpinen Kristallin liegen die tieferen kalkalpinen Decken. Sie sind von diesem abgestaut.

Die hochostalpinen Decken.

Hierher sind die Hallstätter- und die hochalpinen Decken gestellt worden. Diese Kalkdecken bauen der Hauptsache nach die sogenannten Kalkhochalpen der Ostalpen auf, also die großen Plateauberge, die Dachsteingruppe, die Gesäuseberge, endlich die Hochschwabgruppe, dann die Veitsch, Schneealpe, Rax und Schneeberg.

Diese Kalkplateaus sehen wir auf der Südseite mit den Grauwackengesteinen in Verbindung, und zwar mit der oberen Hälfte derselben, die bisher hauptsächlich für Silur-Devon gegolten hat und meist kalkig aufgebaut ist. Daneben finden sich natürlich auch Schiefer.

Digitized by Google

Die Grenze gegen die tiefere Grauwackenzone, die mehr aus jüngeren Schieferelementen (Karbon) bestehen sollte und in Kärnten mit der voralpinen Serie des Mesozoikum verbunden ist, ist auch in der Grauwackenzone zu sehen. Sie ist scharf markiert. Es finden sich da häufig noch mesozoische Reste der voralpinen Serie, so Werfener Schiefer, Kalke, Dolomite. Diese Vorkommen finden sich auf einer langen Linie, die als norische Linie bezeichnet worden ist und die von Niederösterreich bis in das Salzburgische zu verfolgen ist.

Genau so, wie sich das oberostalpine Paläozoikum gegen das unterostalpine auf große Strecken scheiden läßt, so ist das auch für das Mesozoikum der Fall. Dies ist besonders für den Osten anerkannt worden.

Die hochostalpinen Kalkdecken gliedern wir heute in die Hallstätterdecke und die eigentliche hochalpine Decke. Die erstere wird charakterisiert durch jene bekannten eigenartigen Hallstätter Kalke und Marmore und Hallstätter Faunen. Im allgemeinen stammt die Hallstätterdecke aus tieferen Meeresgebieten, wahrscheinlich aus dem Bathyal der Geosynklinale. Die hochalpine Decke dagegen stammt besonders in ihren basalen Gliedern aus seichteren Zonen, im Dachsteinkalk dagegen wieder aus tieferen, vermutlich bathyalen Gebieten. Der Dachsteinkalk wird zum großen Teil als Globigerinenschlamm gedeutet.

Auch im Paläozoikum der hochostalpinen Decken glauben wir tiefere Sedimente zu erkennen und haben daher die hochostalpine Decke ihrem Gesamthabitus nach als mehr bathyal angesehen, gegenüber der oberen ostalpinen Deckenordnung. Dort überwiegen offenbar die neritischen Elemente, mit einem Worte, die hochostalpinen Decken stammen aus südlicheren, zentralen und tieferen Teilen der Geosynklinale als die oberen ostalpinen Deckenordnungen, aus der dinarischen Narbe.

Die Hallstätter- und die Dachsteindecke wurde 1903 von Haug erkannt. Ich habe die gleiche Deckenfolge in den östlichen Kalkalpen weithin nachweisen können. Nowak ist ebenfalls im ganzen Haug gefolgt. Anders Hahn und Spengler. Diese leugnen die Existenz der Dachsteindecke und sehen im Dachstein die südliche Fortsetzung der bayrischen Decke. Über der soll die juvavische Decke liegen, die im allgemeinen nichts anderes ist als Hallstätter- und Dachsteindecke.

Diese Deutung ist nicht richtig. Wohl verbinden sich die Leoganger Steinberge mit dem Steinernen Meer mit dem Tennengebirge, dieses setzt aber nicht, wie Nowak schon erkannt hat, im Dachstein fort. An der Abtenauer Linie zieht sich das Tennengebirge nach Süden zurück und ein neues tektonisches Element schiebt sich ein. Es ist der Dachstein mit der Hallstätter Serie an der Basis. Diese Decke setzt fort gegen Nordwesten in die Deckenschollenlandschaft des Untersberges usw.

Digitized by Google

Die hochostalpinen Decken liegen hauptsächlich in zwei Verbreitungsgebieten. Das eine umfaßt das Lattengebirge, die Reiteralpe, das Berchtesgadener Land, den Untersberg, den Hohen Göll, die Dachsteingruppe mit dem Katergebirge und dem Grimming.

Die große Deckschollenlandschaft liegt in einer NW.—SO. streichenden Synkline. Den Südrand bilden die Loferer Steinberge, das Steinerne Meer mit Hochkalter und Watzmann, dann das Tennengebirge. Hier tritt die Südumrahmung gegen Süden scharf zurück und ist erodiert. Den Nordrand der Mulde bilden das Sonntagshorn, dann die Osterhorngruppe, das Höllengebirge und das Totengebirge. Alle diese Teile sind stratigraphisch und tektonisch äquivalent und zwar Teile der Ötscher-, bezw. der Lechtaldecke.

Im Westen hebt die Mulde über dem Neokom der Kammerkehrgruppe aus. Im Osten tritt sie an den Kalkalpenrand mit NW.—SO.-Streichen heran.

Der Grimming bildet die Stirn der Dachsteindecke. Es ist eine kleine Scholle, die sich mit der Hallstätterdecke in das ostalpine Lias-Neokomgebiet der Liezener-Ausseer-Mulde einbohrt. Hallstätter Deckschollen sind allerorts verstreut. Sie sind mit Gosau verbunden. Aus der Mulde steigt im N. steil das Totengebirge heraus. Es trägt Deckschollen von Plassenkalk. Das ist das gleiche tektonische Bildnis, wie es Spengler vom Schafberg beschrieben hat. Plassenkalk gehört nur zur hochostalpinen Decke. Das Totengebirge ist Ötscherdecke. Aus ihrem Leibe quillt die Muschelkalkmasse des Sengsengebirges nach Norden weit vor. Der Traunstein ist eine Deckscholle der Ötscherdecke, die weit über die Lunzer- und Frankenfelsendecke direkt auf die Flyschzone vorgetragen worden ist.

Östlich des Totengebirges setzt die hochostalpine Decke wieder ein und zieht über das Gesäuse, die Hochschwabgruppe in überaus typischer Entwicklung bis zum Abbruch der Kalkalpen am Wiener Becken. Hier finden sich wieder im Mürzgebiet typische Deckschollenlandschaften. So lassen sich östlich der Veitsch drei Decken nachweisen, von denen die oberste wahrscheinlich die Dachsteindecke ist, während die beiden unteren Teildecken der Hallstätterdecke sind. (Frein- und Mürzdecke.)

Genetik des Deckenbaues der Ostalpen.

In bezug auf die Genetik des Deckenbaues der Ostalpen läßt sich im allgemeinen sagen, daß die Beziehungen der Gosau zum Flysch für vorgosauische Deckenbewegungen großen Stiles sprechen. In der Tat kennt man in der typischen penninischen Serie des Tauernfensters noch keine jüngeren Gesteine, nur in der Aufbruchszone des Engadin sehen wir die Klippendecke (Sulzfluh) mit Oberkreide, mit


Digitized by

Couches rouges, verbunden. Auch im Fenster des Engadin liegt unter dem Altkristallin Oberkreide in Form von Brekzien und in Flyschfazies. Diese Oberkreide gehört der unterostalpinen Serie an, die unter dem Silvrettamassiv liegt. Dieses Verhältnis bietet zweifellos Schwierigkeiten für vorgosauische Überfaltung. Vielleicht spielen dabei auch die sekundären nachträglichen Bewegungen eine Rolle, Bewegungen, die der eigentlichen Nordbewegung der Decken nachgefolgt sind (Stirnrand).

Im Deckenbau der Ostalpen liegen in der mächtigen ostalpinen Decke höhere Deckensysteme vor als in den Westalpen. Das ostalpine Mesozoikum stammt aus tieferen Teilen der Geosynklinale wie das des penninischen und helvetischen. Es stammt auch aus inneren südlicheren Gebieten. Eine solche Scheidung in Geo- und Synklinalgebiete, wie sie Staub für den Westen versucht, erscheint für das ostalpine Gebiet wahrscheinlich. Trias und Jura sind fast frei von Brekzien. Besonders der Jura scheint aus gleichmäßigen großen Tiefen zu stammen. Freilich müssen alle diese Verhältnisse noch genau verfolgt werden.

Sicher ist, daß die Decken von innen nach außen gehen. Ich möchte mir den Vorgang folgendermaßen denken.

Die hochostalpinen Decken sind die ältesten. Es sind Abrutschungen der Hallstätter und der hochalpinen Decke mit ihrer paläozoischen Grundlage vom kristallinen Untergrunde. Sie fließen in die voralpine Vortiefe hinab, nachdem sie bereits im Oberjura (Plassenkalk) fast landfest geworden sind. Man könnte das hochalpine Gebiet also als Geoantiklinalgebiet, das voralpine als Geosynklinalgebiet (Vortiefe) bezeichnen (für den oberen Jura).

In diese Vortiefe fließt die hochostalpine Decke hinein, etwa so, wie wenn Japan in die vorliegende Tiefe abrutschen würde (hochostalpine Phase). Dieser Vorgang muß für die hochostalpine Decke vor der Oberkreide erfolgt sein. Dann kommt mit dieser hochostalpinen Deckscholle auf dem Rücken die ganze obere ostalpine Decke ins Wandern (obere ostalpine Phase). Offenbar wird die mesozoische Sedimentdecke dabei abgestreift, sie gleitet auf dem Werfener Schiefer ab. Dann erfolgt die Bildung der unteren ostalpinen Deckenordnung (unterostalpine Phase). Die ostalpine Decke wandert über das vorliegende penninische Synklinalgebiet. Die Wanderung geschieht in fortwährender Entstehung von Teildecken aus dem Stammkörper. Decke rollt sich über Decke. Es sind liegende Falten. So entstehen z. B. die Radstätterdecken. Sie werden unter das ostalpine Grundgebirge, gleichsam wie im Liegendschenkel desselben eingefügt, unter dem Gesamten entsteht wieder das Deckensystem der penninischen Decken und ganz in der Tiefe und unter hoher Belastung (penninische Phase). Hier werden wir mit Tiefen von 20—40 km zu rechnen haben. Die Plastizität dieser (Zentralgneisdecken) Zonen erleichtert die Beweglichkeit der oberen

Digitized by Google

Decken ungemein, das Gebirge schwimmt im wahren Sinne des Wortes weiter, getrieben von einer Kraft, die es zwischen die starren Widerlager im Norden und im Süden einpreßt. So gelangen die Kalkalpen weit nach Norden, vielleicht Inselketten bildend, unter sich in den Tiefen das penninische Gebirge begrabend, vor sich wieder die Geosynklinale (Vortiefe). Der Druck geht weiter. Die Ketten wandern auf die böhmische Masse zu. Die Flyschzonegeosynklinale wandert ebenfalls weiter (helvetische Phase). Sie wird zur noch kleineren Molasse-Vortiefe. Endlich wird auch diese landfest. Das Gebirge strebt in die Höhe. Mit stumpfen ebenen Flächen liegt die Oberfläche des Gebirges da. Vielleicht ist es längere Zeit wirklich landfest und wird bis zu einem gewissen Grade eingeebnet. Was als alte Abtragung erscheint, ist aber dreierlei:

1. Tektonische Abschiebung des Mesozoikums vom Grundgebirge, also das Mesozoikum ist nicht immer, wo es fehlt, durch Abtragung entfernt worden (tektonische Verebnung).
2. Marine Abrasion. Das Gebirge steigt doch langsam aus dem Meere auf. Im Eozän ist es vom Meere bedeckt. Im Miozän wird es weithin frei. Bei dem Emporsteigen wird es sicherlich auch verebnet worden sein.
3. Echte Abtragung durch die Atmosphärilien während des Miozän.

Die weitere Entwicklung der Ostalpen geht derart vor sich, daß die Zusammendrückung des Gebirges fortdauert (Steilstellung der Wurzeln im Süden), aber nicht so groß ist, daß echte Decken entstehen. Das Gebirge wird hauptsächlich en bloc gehoben. Durch Brüche, die im Streichen liegen, wird das Gebirge jetzt zerstückelt, in Schollen zerlegt, diese in verschiedene Niveaus gebracht (insubrische Phase).

Morphologisch wird das Gebirge zum Schollengebirge. Wir sehen jetzt noch in den Ostalpen Teile mit verschiedenartiger Morphologie. Teile haben die alte Morphologie gewahrt, andere haben ganz junge Züge erhalten. Diese zeigen meist die echte Hochgebirgsform. Sie sind am meisten emporgetragen und daraufhin vergletschert worden. So die Tauern. Der folgende glaziale Zyklus hat das Gebirge vollständig unterjocht und ganz neue Formen geschaffen. Dem glazialen Zyklus verdanken die Hohen Tauern ihre echte Hochgebirgsform, und zwar wahrscheinlich besonders der jüngeren Zeit.

Andere Teile, wie etwa die Kalkhochalpen, sind auch hoch — bis 3000 m emporgestiegen. Aber sie hatten keine solche intensive Vergletscherung. Die alten Verebnungsflächen blieben erhalten, samt den Karsterscheinungen (Dachstein). Aber auch der glaziale Zyklus hat sich in Karen und Trögen eingezeichnet. (Fig. 25, Seite 131.)

Digitized by Google

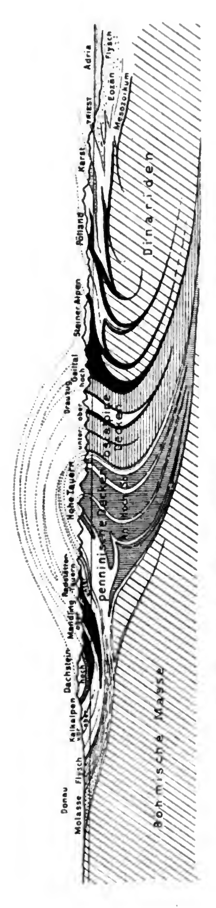


Fig. 23. Schema des Deckenbaues der Ostalpen und Dinariden nach L. Kober.
Weiß ist Mesozoikum, schwarz Paläozoikum, schraffiert Grundgebirge. Zwischen den starren Massen des böhmischen Massivs und dem dinarischen Körper werden die ostalpinen Decken emporgepreßt. Die Decken der Dinariden sind kleine Rückflutungen jungen Datums.

Ein dritter Typus ist der Landschaftscharakter, wie er etwa das Gebirge östlich der Hohen Tauern vom Katschberg an beherrscht, sowie das Stangalpengebiet etwa. Nirgends finden sich die Formen der Hohen Tauern. Hier und da nur ganz flache Kare in flachen Hängen. Überall aber über das ganze „Gebirge" weggehend die alte Landoberfläche, eine Ebene fast bildend, aus der Täler und Berge herausgeschnitten sind. Das ganze Land ist wenig gehoben worden, daher weniger alpin in seiner Oberflächenform.

Ähnlich ist es gegen die Koralpe zu. Dort sieht man von Süden her aus dem Miozänbecken von Klagenfurt die alte Verebnungsfläche mit voller Klarheit gegen Norden hin ansteigen.

Die alte Landoberfläche ist in einem Großfaltenmechanismus aufgewölbt worden. 2—3 große Antiklinalen möchte man unterscheiden. Die Synklinalen sind im allgemeinen durch die erhaltenen Miozänablagerungen gegeben. Sie folgen den Flüssen, Drau, Mur, Enns (und Donau). Große Brüche folgen diesen Linien. Diese sind geologisch nicht leicht nachweisbar, eher morphologisch. Deutlicher sind sie im Ennstal. Auf dem Stoder liegt das Alttertiär in 1800 m, im Ennstale in 900 m. Im Murtale liegt das Tertiär bei Tamsweg in 1100 m, in Leoben in 900 m, im Obdachergebiet auf 1200 m, im Kärtner Becken wieder auf wenigen 100 m (Fig. 25).

Diese Bewegungen geben oberflächlich das Bild der epirogenetischen

Digitized by Google

Bewegungen. Sie sind aber doch nur die Fortsetzung der orogenetischen. Sie bezwecken die Verengung des Raumes durch das Zusammenpressen des Alpenkörpers. Diese Bewegung dürfte heute noch nicht zum Stillstande gekommen sein. In diesen Bewegungszyklus gehören wahrscheinlich auch die sekundären Ost- und Westbewegungsrichtungen, wie wir sie z. B. im Bogen von Weyer vor uns haben.

Dies ist nur eine skizzenhafte Darlegung des Deckenbaues der Ostalpen und der Entstehung des Gebirges zu seiner gegenwärtigen Gestalt. Vieles ist noch unsicher und es wird vieler Arbeit bedürfen, um in der Genetik der Ostalpen jenen Einblick zu erhalten, wie dies in den Westalpen der Fall ist, und so jene Übereinstimmung der Anschauungen zu erzielen, wie sie der einheitlichen Entstehung des ganzen Alpengebirges entsprechen. Die gegenwärtigen Darstellungen der Gegner der Deckenlehre vom Baue der Alpen sind mehr Entstellungen als Darstellungen der Verhältnisse in der Natur. Dies gilt besonders von den Synthesen von Heritsch, Schwinner u. a.

Der Deckenbau der Dinariden.

Die Dinariden, d. h. das ganze Gebirge südwärts der dinarischen Narbe, haben lange Zeit als Typus eines ruhig gelagerten Erosionsgebirges gegolten, das gleichsam der Gegenflügel zur nördlichen Kalkalpenzone war, also ein integrierender Bestandteil der Alpen.

Suess hat dann die Dinariden von den Alpen abgetrennt und sie als die Ausläufer der asiatischen Randgebirge aufgefaßt. Sie sind nach Süden bewegt, den Ostalpen daher fremd und von diesem nordbewegten Gebirge durch die durch Intrusiva gekennzeichnete dinarische Narbe geschieden.

In der Theorie von Termier über den Deckenbau der Ostalpen spielen die Dinariden die Rolle des Erzeugers. Die Dinariden sollten als traineau écraseur über die Ostalpen hinweggegangen, diese dabei erzeugt haben. Dann sollten die Dinariden wieder rückwärts gesunken und dabei südwärts bewegt worden sein.

Diese Vorstellungen von Termier sind wohl in dieser Form nicht richtig. Die Dinariden als Ganzes sind niemals über die Ostalpen hinweg gegangen. Nur die hochalpine Decke kann als dinarische bezeichnet werden. Diese Decken zeigen die Fazies der Steiner Alpen, also eines Teiles der dinarischen Alpen. Mit diesem Gebirge, mit diesem Fazies-Bezirk hängt die hochostalpine Decke zusammen.

Die Dinariden sind zweifellos ein Deckengebirge, nur sind die Bewegungen keine so gewaltigen. Wir stehen in den Dinariden mehr auf dem Dache der Decken. Grundgebirgsteile treten wenig auf. Metamorphe Serien, den Schistes lustrés vergleichbar, fehlen. Metamorphose, Vulkanismus, regionale Tiefentektonik von der Größe der alpinen fehlen.

Digitized by Google

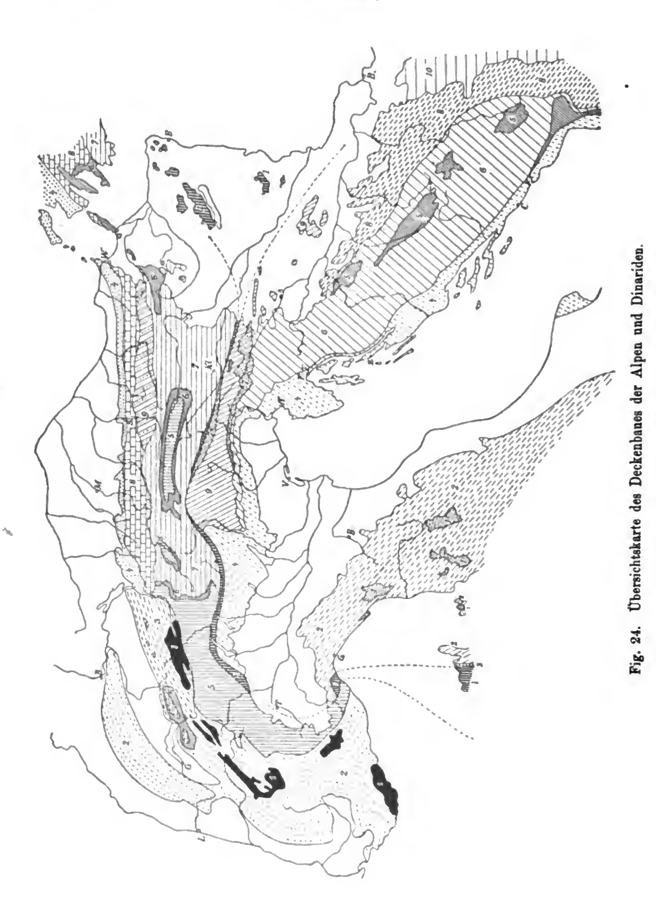


Fig. 24. Übersichtskarte des Deckenbaues der Alpen und Dinariden.

Erklärung zu Figur 24.

Die Übersichtskarte der Alpen nnd Dinariden, entworfen von L. Kober 1913, mit Benutznng der Arbeiten von Argand, Heim, Lngeon, Schardt, Steinmann, Suess, Termier, Uhlig.

Die Alpen.

1 sind die autochthonen Massive; *2* autochthone und parautochthone Zonen in helvetischer und Danphiné-Fazies; *3* die eigentlich helvetischen Decken; *4* die Flyschdecken der Ostalpen und Karpathen (helvetisch-beskidische) Decken; *5* Penninische Decken der Westalpen und in den Ostalpen; *6* die unteren ostalpinen Decken, Klippendecken, Brecciendecke, Radstätterdecken in den Ostalpen und hochtatrische Decke der Karpathen; *7* obere ostalpine Decken mit dem voralpinen Mesozoikum; *8* voralpine Decken der nördlichen Kalkzone nnd der subtatrischen Decke der Karpathen: *9* hochostalpine Decken. Hallstätter und hochalpine Decken mit der Wnrzel in der Narbe.

Das Zwischengebirge und die Narbe (*1*), (schematisch).

Der Bakony, die Insel von Fünfkirchen werden vorläufig hierher gezählt. Das Untertauchen der Ostalpen scheint in NO.-Richtnng fortzugehen. Die Fortsetzung der Narbe vermntet Haug in den Granitanfbrüchen der Savelinie. Man muß annehmen, daß die bosnische Flyschzone unter die Granitmassen von Daruvar einsinkt. Die Narbe ist die Wurzel der Decken mit Silur-Devon-Permokarbon. Längs dieser Linie müßte man die Verbindung dieser Bildungen in der karnischen Hauptkette, in Korsika, anf Sizilien suchen. Die Narbe ist die Wurzel für die obersten ostalpinen Decken. Weiter gehört hierher das ligurische Massiv nnd das korso-sardinische Massiv.

Die Dinariden.

a) Der Apennin. *3* höchste Decke anf Korsika und Elba mit Silur; *2* Decken der apenninischen Flyschzone nnd der grünen Gesteine; *1* tiefste Decke des Apennin, erscheint auf Elba und in den mesozoischen Inseln des Apennin unter der Flyschzone (nach Termier).

b) Die Dinariden. *4* Die Decken der adriatischen Außenzone; *5* unterdinarische Decken des Znkali und der paläozoischen Aufbrüche in Bosnien; *6* die nnterdinarischen Decken in Krain, in Kroatien, Bosnien und Albanien (bosnisch-albanische Tafel); *7* die hochdinarischen Decken der karnischen Hanptkette, des Seeberges und des Bačatales; *8* oberdinarische Decke der bosnischen Flyschzone (Merditadecke in Albanien), ein Analogon zn Decke *2* des Apennin; *9* die hochdinarischen Decken der Dolomiten, Julischen Alpen nnd Steineralpen; *10* die kristalline Zone Serbiens.

Wir wollen in kurzen Zügen den Deckenbau der Dinariden, seine Genetik darlegen, um so auch den Boden vorzubereiten für das Verhältnis von Alpen und Dinariden und damit wieder für den Bau des alpinen Orogen, das im nächsten Kapitel besprochen wird. (Fig. 23, Seite 126.)

In den Dinariden lassen sich nach meinen Studien unterscheiden:

1. Die adriatische Außenzone.

Diese Serie umfaßt die Außenzone der Dinariden und die Vortiefe der Adria und des Po. Hierher gehören: Die Kreide-Eozänketten der dalmatinischen, der istrianischen Ketten, die Venetianischen Alpen im Süden der Val-Sugana-Linie (Gebirge von Rekoaro), das Etschbuchtgebirge (ohne Brenta) und wahrscheinlich die lombardischen Kalkalpen.

Digitized by Google

Der stratigraphische Aufbau zeigt ein Grundgebirge in Rekoaro, dann die Trias in der bekannten Entwicklung, den südalpinen Jura, die Kreide in der Fazies von Biancone und Scaglia (ohne Diskordanz!), dann das Eozän.

Der Aufbau zeigt immer nach Süden vordringende Falten, die z. T. in Deckschollenstruktur übergehen. Die Grenze gegen die nächstfolgende dinarische Einheit ist z. B. an der Val-Sugana-Linie scharf, ebenso scharf im Untertauchen des Flysches unter die Kreide-Juradecken des Tarnowaner und Birnbaumer Waldes im Triestiner Karst, in der Überstürzung des Velebit über die vorliegenden Inselketten.

2. Die unterdinarischen Decken.

Diese umfassen vor allem im südalpinen Anteil das Faziesgebiet der Wengener-Kassianer Entwicklung, in Krain das Überschiebungsgebiet von Pölland.

In Krain ist die Deckenserie klar zu erkennen. In der Stirn des Birnbaumer Waldes tritt die Decke weit nach Süden vor (Kreide-Jura über Flysch) (Kossmat). Im Fenster von Idria erscheint das Eozän der Adriatischen Außenzone inmitten der unteren dinarischen Decken (Kropač). Bei Pölland wird unter dem Karbon der Liegendflügel der Trias sichtbar. Diese Überschiebungen hat Kossmat vor Jahren erkannt. Über dem Karbon folgt das hangende Mesozoikum mit der Trias von Bischoflack, von Laibach. Hier an der „Kirchheimer Linie" wird diese Deckenserie von der nächstfolgenden Serie der dinarischen Decken überschoben und zwar vom Silur und Devon der Zone von Eisnern.

Die Liegendfalten sind im Gebiete des Bergbaues von Idria gut aufgeschlossen.

3. Die oberdinarischen Decken. (Die bosnische Schiefer-Hornsteinzone.)

Sie ist eine eigene selbständige Zone auf der Innenseite der Dinariden und wurde im Albanischen von Nopcsa in der Merdita näher studiert. Es sind z. T. metamorphe Gesteine, Schiefer, Flysch, besonders reich an Radiolariten und grünen Gesteinen. Es macht den Eindruck, wie wenn in dieser Zone, die sich durch die Helleniden bis in den Taurus fortsetzt, die abyssale Entwicklung des Mesozoikum vorläge, im besonderen der Trias, und des Jura. Dies wäre von ganz besonderem Interesse, weil eine derartige Entwicklung derzeit noch nicht bekannt ist. Die ganze Zone hat Ähnlichkeit mit der Flyschzone des Apennin.

4. Die hochdinarischen Decken.

Hierher gehören vor allem die mächtigen Kalk-Dolomitklötze der Südtiroler Dolomiten, dann die karnische Hauptkette und die Steineralpen. Diese Einheit ist durch das reiche Paläozoikum charakterisiert,

Digitized by Google

dann durch die einförmige Kalk-Dolomitentwicklung der Trias, wie sie in den Steineralpen vorhanden ist. Im ganzen Aufbau an die hochostalpine Decke erinnernd, ist die hochdinarische Decke als Abkömmling der inneren Teile der alpinen Geosynklinale wahrscheinlich in tieferer konstanter See, in bathyaler Lage entstanden. Das reiche Silur-Devon-Karbon ist so charakteristisch für diese Serie. In der Oberkreide zeigt sich die Transgression der Gosau. Im Isonzo-Profil ist an der Krn-Linie die Decke ebenso zweifellos über die vorliegende unterdinarische aufgeschoben, wie ostwärts an der Kirchheimer Linie. Die hochdinarische Decke ist in sich wieder geteilt. Im wesentlichen ist sie identisch mit der hochostalpinen Decke.

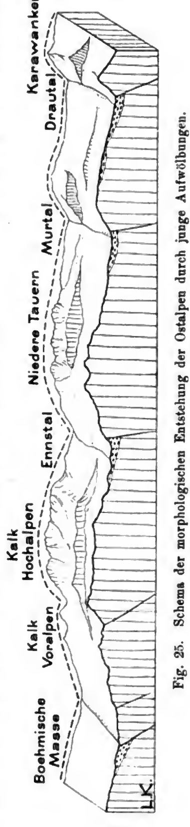


Fig. 25. Schema der morphologischen Entstehung der Ostalpen durch junge Aufwölbungen. Die gestrichelte Linie soll die verbogene ältere Oberfläche darstellen.

Der allgemeine Bau der Dinariden und das Verhältnis zu den Ostalpen.

Die Dinariden sind einheitlich südbewegt. Im Profil von Triest gegen die dinarische Narbe taucht die erste Zone unter die zweite, diese unter die dritte und diese entsteigt der dinarischen Narbe. Dort stoßen Ostalpen und Dinariden aneinander, beide entgegengesetzt bewegt, die einen nach Norden (im Obirzug), die anderen nach Süden (Koschutazug). Es wurde schon von mir betont, daß die Steineralpen, so wie die Verhältnisse liegen, in unmittelbare Verbindung kommen mit der Wurzel der hochostalpinen Decken, so daß die beiden direkt als aus einem Faziesgebiet stammend angesehen werden müssen. Es ist interessant zu sehen, daß eigentlich eine Hälfte dieser inneren alpinen Decken in den Ostalpen liegt, die andere Hälfte in den Dinariden. Wir nehmen die Grenze zwischen Ostalpen und Dinariden schematisch in der Narbe, aber die Art der Trennung kennen wir nicht. Viel wird sich klären, wenn es einmal gelingt, die bosnische Schiefer-Hornsteindecke weiter westlich zu verfolgen. Sie scheint in Karlstadt zu endigen. Die eigenartige Trias des

Digitized by Google

Bačatales scheint der letzte Rest der Hornsteindecke Bosniens zu sein. Wenn das der Fall wäre, dann wäre auch die Grenze zwischen Alpen und Dinariden hier zu suchen; denn die bosnische Hornsteindecke ist die innerste dinarische Decke. Sie grenzt im Norden an die Granite des Savezuges, die von Haug auch als Fortsetzung der dinarischen Narbe angesehen worden sind.

Sicher ist, daß die Dinariden ein nach Süden bewegtes, von den Ostalpen getrenntes selbständiges Gebirge sind, das in der adriatischen Außenzone nacheozäner Entstehung ist, in der hochdinarischen Decke aber bereits interkretazisch (vorgosauisch). Die Decken gehen nach Süden, die der Ostalpen nach Norden. So entstehen zwei Deckengebirge mit lokal verschiedener Bewegungsrichtung. Die Bewegung geht von der geosynklinalen Mitte aus. Große Teile der ostalpinen Zone sind schon überfaltet, während in der adriatischen Außenzone ruhige stetige Sedimentierung herrscht. Die Deckenbewegung macht sich gar nicht bemerkbar.

Ein großer Vulkanismus ist mit dem ganzen Prozeß der Gebirgsbildung verbunden. Besonders in und um die dinarische Narbe werden Intrusiva eingepreßt. Eine Reihe von Intrusionen lassen sich verfolgen. Manche davon sind sehr jung; nach der Deckenüberfaltung erst emporgedrungen. Aber auch die Deckenbewegungen selbst sind durch reichen Vulkanismus ausgezeichnet. Hierher gehören vor allem die grünen Gesteine, wie sie in der rhätischen Decke bekannt sind.

Alpen und Dinariden bilden einen Fächer, dessen Flanken nicht ganz gleicher zeitlicher Entstehung sind. Die Falten werden wie zwischen einem Schraubstocke ausgepreßt. Die Backen sind das Vorland im Norden und das Vorland im Süden.

Damit erhalten wir einen wichtigen Einblick in die Genetik der Gebirgsbildung und der orogenetischen Zonen.

Der Deckenbau der alten paläozoischen Deckengebirge.

Hier sind die Verhältnisse meist nicht mehr so klar wie bei den jüngeren Deckengebirgen. Die Ursache liegt vor allem darin, daß diese Gebirge tiefabgetragen worden sind, bis tief auf die simatischen Intrusionen. Nur dort, wo infolge eines großen Faltungstiefganges das alte Gebirge tief in die Erdrinde eingesenkt worden ist, konnte es besser erhalten bleiben.

Die Entstehung der alten Deckengebirge ist wohl im Prinzip die gleiche wie die der modernen. So sehen wir auch im geologischen Bilde die gleichen Verhältnisse. Dazu kommt aber noch folgendes. Die alten Gebirge sind verebnet worden. Sie wurden aber später von postpaläozoischen Sedimenten, meist epikontinentaler Natur überdeckt. Die jüngere Schichthülle liegt wie eine Tafel auf dem abradierten Gebirge.

Digitized by Google

Erst dadurch, daß neuerdings, meist vom Oligozän an, durch Dislokationen mehr radialer Natur, durch Brüche, durch Überquellung, Schollen aus dem alten Gebirge emporgetragen, also die Gebirgsbildung, die Erosion belebt worden ist, entstand das Gebirge. Es zeigt auf der Höhe meist die Peneplain, und Reste der postpaläozoischen Tafel.

Gräben und Horste entstanden auf dem Boden des alten Gebirges in einem neuen Zyklus der Gebirgsbildung. Dieser aber ist anderer Art als der erste Zyklus, in dem das Gebirge aus der Geosynklinale zum Deckengebirge geworden ist. Der neue Gebirgsbildungsakt ist sozusagen kein selbständiger, er kommt im Gefolge der Entstehung der jungen Deckengebirge, indem die orogene Bewegung der Geosynklinale auch das Vorland erfaßt. Die alten paläozoischen Ketten sind infolge ihres relativ noch reichen Schieferbestandes leichter beweglich, zerbrechlicher, also weniger widerstandsfähig als die alten erstarrten Tafeln. Und so erfolgt eine Dislokation. Diese ist aber vor allem eine Dislokation im Festen, auf dem Lande; zum Unterschiede von der eigentlichen Deckenbewegung in der Geosynklinale (im Plastischen).

Die alten Deckengebirge verdanken also einem neuen Zyklus ihre Wiederbelebung. Aber nicht das ganze Gebirge steht aus dem Grabe auf. Oft sind es nur Teile, mitten aus dem Gebirge herausgeschnitten. Es sind also keine vollständig, normal gebauten Deckengebirge mit ihrer scharfen Trennung gegen das Vorland, ihrer Gliederung in Decken- und Wurzelland. So kann es sein, daß die Grenze gegen das Vorland gar nicht belebt worden ist. Sie liegt noch unter der postpaläozoizchen Sedimenthülle begraben in der Tiefe. Es ist gerade ein Stück heraus geschnitten worden, das dem inneren Deckenlande entspricht, ein andermal wieder ein Horst mehr aus der Wurzelzone, dann wieder ein Stück mehr gegen das Vorland. Das Herausschneiden muß nicht gerade immer im Streichen des Gebirges erfolgen. Dieser Fall ist besonders von Interesse, weil dann das morphologische (orographische) und das tektonische Streichen nicht übereinstimmen. Das erstere kann quer auf das allgemeine tektonische Streichen erfolgen. Solche Verhältnisse geben dann gern Anlaß zu Mißverständnissen.

Mit einem Worte: Die alten Gebirge werden meist nicht in ihrer Gänze neu belebt, sondern nur in Teilen. Diese folgen meist dem generellen Streichen des alten Gebirges. Morphologisch treten sie als Schollen- und Hochgebirge in Erscheinung, begrenzt von Brüchen und Überquellungen.

Dies ist der Bauplan, wie er die Schollengebirge der variszischen Horste in Deutschland (Schwarzwald, Vogesen), in Frankreich (Zentralplateau), in Zentralasien (Tianschan) charakterisiert.

Digitized by Google

Freilich gibt es Fälle, wo das alte Gebirge auf weite Strecken wieder zutage kommt und große Teile des Gebirges enthüllt werden. Dann erscheint das Vorland, die Überschiebungslinie des Gebirges auf dasselbe, der allgemeine Deckenbau des Gebirges sehr gut, das Deckenland, das Wurzelland.

Solche Verhältnisse sehen wir z. T. in Schottland, in den Appalachen, im norwegischen Hochgebirge.

Wir wollen hier einzelne Beispiele kurz vorführen.

Der Deckenbau des skandinavischen Hochgebirges.

Äußerlich einer großen Einebnung verfallen, steigt das Gebirge am Überschiebungsrande mit einer Steilmauer über das Vorland. Das Gebirge selbst hat den Charakter eines Schollengebirges. Tektonisch tritt der Deckenbau gut hervor. Die Schichten, in dem Falle, paläozoische und ältere, sind einer weitgehenden Metamorphose unterworfen. Die Überschiebungslinie ist mit „Kakiriten", mit zermalmten Gesteinen (Myloniten) gewissermaßen gepflastert. An der Basis der Überschiebungen finden sich die typischen Überschiebungsapophysen von grünen Gesteinen. Die Bewegung geht einheitlich auf das Vorland nach Osten. Die Überschiebung selbst geht durch die ganze Halbinsel, von Bergen bis Tromsö reichend. Die Grenze gegen das Vorland im Osten, den baltischen Schild, bildet die Überschiebungslinie, auch morphologisch als Steilrand gezeichnet. Im Westen geht das Gebirge ins Meer. Die Überschiebungen sind paläozoischen Alters. Das genauere Alter ist noch nicht bekannt.

Das schottische Deckengebirge.

Es ist die Fortsetzung des skandinavischen Gebirgszuges, aber es ist ganz im Gegensatz zu diesem nach Westen bewegt. Aufgeschlossen ist das Vorland (Lewisian Gneis, Hebriden) und die darauf gehende Überschiebung. Diese ist eine gewaltige, gegen NW flach ansteigende, in viele größere und kleinere (major und minor thrusts) Keile zerfallende Überschiebungsfläche.

Die moldanubisch-moravischen Deckengebirge.

Durch F. E. Suess ist von der Donau bei Krems bis nach Friedeberg in Schlesien reichend, also auf eine Strecke von 250 km ein gewaltiger Deckenbau in dem alten paläozoischen Gebirge aufgedeckt worden, in dem sich zwei große Schollen erkennen lassen.

1. Die moldanubische Scholle ausgezeichnet durch die großen Batholithen Südböhmens, ein Gebirge von hohem Alter aufzeigend, in der Fazies des echten alten Grundgebirges überlagert von paläozoischen Schichten der böhmischen Fazies.

Digitized by Google

2. Die moravischen Decken zeigen einen Deckenbau von mehr alpinem Gepräge. Die Metamorphose ist keine so weitgehende, die Fazies des Paläozoikum ist die des rheinischen Schiefergebirges.

Der allgemeine Bau ist derartig, daß wahrscheinlich die moldanubische Scholle von Westen gegen Osten über die moravische Zone hinweggeschoben worden ist. Dafür sprechen einzelne moldanubische Reste im Osten der moravischen Zone (Misslitzer Horst).

Wo die paläozoischen Ketten in größerer Ausdehnung zutage kommen, wird man mit der Zeit auch die Faziesreihen unterscheiden lernen. Meist gliedert sich das Paläozoikum in eine fossil- und kalkreiche, wenig metamorphe Entwicklung, die meist höher liegt, und eine tiefer liegende Schiefer-Entwicklung, häufig durch den Reichtum an Eruptiva (grünen Gesteinen) gekennzeichnet und von Radiolariten (Kieselschiefern) begleitet.

Mächtige paläozoische, oft recht einheitliche Kalkmassen, förmlich eine Kalkzone bildend, analog etwa der mesozoischen Kalkzone in den Alpen, finden sich z. B. auf der Westseite des Ural, während das Innere von einer paläozoischen Schieferserie mit Radiolariten, grünen Gesteinen usw. gebildet wird. Ähnliches wird auch von den zentralasiatischen Schollengebirgen beschrieben.

Bezeichnen wir etwa die jungen Deckengebirge in Summe als einzyklisch, dann sind die alten aber neu belebten Deckengebirge, die Neopaläiden, zweizyklisch.

Deformationen der Deckengebirge. Typen.

In den Alpen sehen wir ein relativ normal gebautes Deckengebirge. In den paläozoischen Deckengebirgen haben wir weitgehend deformierte alte Deckengebirge kennen gelernt. Aber nicht nur diese alten zweizyklisch gebauten, neubelebten Deckengebirge weichen häufig vom alpinen Schema ab, sondern auch junge Ketten- und Deckengebirge zeigen weitgehende Abweichungen.

Das Charakteristische eines Deckengebirges ist die Einseitigkeit der Bewegung der Deckenmassen. Wir erkannten, daß die Bewegung immer auf das Vorland gerichtet ist. In den Alpen werden in letzter Zeit von einer Reihe von Forschern gerne O—W-Bewegungen in den verschiedensten Gebieten angeführt, so in den ostalpinen Kalkalpen, vor allem aber in den sogenannten rhätischen Bögen (Spitz und Dyrenfurth). O—W-Bewegungen wurden von Rothpletz seiner Zeit zur Erklärung des Baues der Grenze der Ost- und Westalpen angenommen. Hier wie in den rhätischen Bögen in Graubünden sieht man Schubflächen gegen Westen ansteigen und schließt daraus, daß die Bewegungen gegen Westen gerichtet seien, da auch gegen West gerichtete Scharniere vorhanden sind. Solche Bewegungen existieren

Digitized by Google

vielfach, können aber auch im Sinne des S—N-Schubes der Deckenlehre als sekundäre Phänomene verstanden werden. In der Tat hat sich auch Staub bereits in diesem Sinne über die rhätischen Bögen ausgesprochen.

Solche Deformationen der primären Bewegungsrichtung existieren zweifellos und stehen im engsten Zusammenhange mit der Phasenbewegung der vorrückenden Decken einerseits, andererseits auch mit jünger erfolgten Aufwölbungen des Gebirges, mit der Bildung transversaler Faltungsachsen (Erhebungsachsen).

Neben den transversalen Faltungen spielen auch Bewegungen im entgegengesetzten Sinne zur allgemeinen Bewegungsrichtung eine wichtige Rolle. Solche Rückfaltungen finden sich in den Alpen gerade in der Wurzelregion. Hier findet sich oft Bewegung gegen Süden, Umkippung. Die Südbewegung zeigt sich schön in den Westalpen auf der ganzen Innenseite des Bogens und äußert sich dort im Umlegen der piemontesischen Zone gegen die Poebene, sie findet sich auch in der Wurzelzone gegen die Dinariden. Es ist zweifellos eine jüngere Bewegung als die S—N-Bewegung und hängt mit dem weiteren Anpressen des dinarischen Rücklandes, bezw. mit dem Absinken desselben zusammen. Die jüngere Phase der Bewegung wurde in den Westalpen (spät) insubrische Phase genannt. (Unterschiebung der Wurzeln.) (Argand.)

Es gibt aber noch viel weitergehende Rückfaltungen. In den Pyrenäen drängen die Decken nach Norden, Teile davon liegen als Klippen auf Flysch, auf der anderen Seite dagegen finden wir eine ebenso klar ausgesprochene Südbewegung. Die Decken fließen nach Süden ab. Auch hier hat L. Bertrand diese Bewegungen für sekundäre, für jüngere Bewegungen erklärt.

Auch im Kaukasus finden sich ähnliche Verhältnisse. Der allgemeine Bauplan wird von nordgerichteten Deckenbewegungen beherrscht, auf der Südseite aber ist die Bewegung nach Süden gerichtet, offenbar wieder sekundär und jünger und mit dem Einbruche auf der Südseite des Kaukasus im Zusammenhange stehend.

Wo solche Verhältnisse herrschen, werden die direkt sichtbaren Bewegungslinien oft keinen direkten Aufschluß über primäre und sekundäre Bewegungsrichtungen geben können, nähere Anhaltspunkte erhalten wir aber aus den Faziesverhältnissen. Die Faziesverhältnisse der Decken geben ein unfehlbares Mittel in die Hand, die Herkunft der Decken zu bestimmen. Hier führen uns die Gesetze der Konstanz und der Korrelation der Fazies auf den richtigen Weg. Die allgemeine Bewegungsrichtung eines Gebirges wird immer durch die Lage des Vorlandes bestimmt.

Diesen Deformationen der Bewegungsrichtungen stehen Deformationen des ganzen Deckenkörpers wieder gegenüber. Solche Defor-

Digitized by Google

mationen erfolgen entweder im Streichen oder quer darauf. Im Streichen können die Außenränder, das Vorland einsinken, dann entstehen Typen, wie wir sie etwa in Dalmatien an den Dinariden sehen, oder sie gehen quer, wie etwa der Einbruch des Ägäischen Meeres, oder sie erfolgen im Rücken, wie etwa der wenig tiefe Einbruch der Karpathen auf der Innenseite, gegen die ungarische Ebene. So entstehen mannigfaltige Typen von Deckengebirgen, die noch vermehrt werden können durch den Archipeltypus, wo das Gebirge in Inselketten, -Reihen, in Horste aufgelöst wird. Auch der Bau im engeren ist ein sehr wechselvoller. Der Bau der Pyrenäen ein anderer als der der Westalpen, dieser verschieden vom Bau der Ostalpen. Wieder anders sind die Karpathen, die Dinariden, der Kaukasus, der Taurus gebaut.

So lassen sich in Bau und Form eine Reihe von Deckengebirgen unterscheiden, die alle aber doch ein Gemeinsames haben: Die Abstammung aus demselben Orogen, die alpine Deckenbewegung mit der Bewegung auf das Vorland, die geosynklinale Fazies; die Einheitlichkeit der Entstehung.

V. Die orogenetischen Zonen.

Allgemeines.

Wir haben nun das Phänomen der Gebirgsbildung im kleinen kennen gelernt und wenden uns nunmehr zu der höheren Einheit der Gebirgszüge, zu den orogenen Zonen der Erde. Damit hoffen wir wieder das Problem des Gebirgsbaues in neues Licht zu rücken und durch die Genetik der Orogene das Verständnis der Gebirgsbildung zu fördern und das Verständnis für den Bau der Erde im ganzen zu erleichtern.

Der Begriff der orogenetischen Zone ist in der geologischen Literatur lange bekannt. Gewisse allgemeine Züge der orogenetischen Zonen wurden bisher schon festgehalten. Man erkannte ihr Zusammenfallen mit den Geosynklinalen, ihre Plastizität, ihre eigenartige erdumspannende Verbreitung in schmalen Bändern, aber noch nie ist bisher versucht worden, das Problem der orogenetischen Zonen als Ganzes zu erfassen, darzustellen, in ihrer Morphologie, Tektonik, in ihrem Materiale, ihrer Entstehung. Und doch handelt es sich gerade um den wichtigsten Teil im Aufbau der Rinde, aus dessen Verständnis so viel Licht für die Genetik der Erde erfließen kann.

Digitized by Google

Die Darstellung der orogenetischen Zonen nach obigen Gesichtspunkten in ihren Haupttypen, dann in ihrem Verhältnis zueinander und zum ganzen, wird der Inhalt der folgenden Ausführungen sein.

Die jungen orogenetischen Zonen zeigen infolge ihrer Jugendlichkeit viel deutlicher die typischen Züge als die alten Orogene. Diese sind viel ungeeigneter, da sie tiefer abgetragen sind, z. T. unter einer mesozoischen Tafel liegen, überhaupt nicht zugänglich, anderseits werden sie eine wichtige Ergänzung bilden, da sie eben infolge ihres Alters wieder, infolge der tiefen Abtragung, die tieferen Züge der Orogene erschließen, während in den jungen Orogenen mehr die oberflächlichen, äußeren Bewegungsphänomene zutage treten.

Die orogenetische Zone des Mittelmeeres.

Das am besten bekannte Beispiel der Orogene ist die alpine Zone des Mittelmeeres. Sie ist am genauesten erforscht. Hierher gehören: die betische Kordillere, die Pyrenäen, die Alpen, die Karpathen, der Kaukasus auf der einen Seite, der Atlas, der Apennin, die Dinariden, die Helleniden, die Tauriden auf der anderen Seite.

Jedes dieser Gebirge, im besonderen die eigentliche alpine Region, ist gut durchforscht. In diesen Gebirgen entstand die Lehre von Suess, die Lehre vom einseitigen Bau der Gebirge. Die moderne Tektonik bildet in der Deckenlehre gleichsam den extremen Ausdruck des einseitigen Schubes. Und doch wieder fanden sich Erscheinungen, die nicht mit der Lehre vom einseitigen Bau in Einklang zu bringen waren. So fanden sich in den Südalpen, die doch als ein integrierender Bestandteil der Alpen angesehen wurden, Bewegungen nach Süden, diese wurden mit fortschreitender Erkenntnis als beherrschendes Element erkannt. Suess mußte seine Anschauungen diesen Erscheinungen anpassen. Er kam in Bewertung der einseitigen Bewegung der Dinariden nach Süden zur Anschauung, daß diese Zone der Alpen als eine Einheit zu betrachten wäre, und trennte die südliche Kalkalpenzone als ein von den Alpen (Alpiden) verschiedenes Gebirge, als Dinariden, ab.

Suess erkannte die Zusammengehörigkeit einer Gruppe von alpinen Gebirgen und nannte diese Alpiden. Diese sind nach Norden bewegt. Im Gegensatze dazu die Dinariden, die als Ausläufer der asiatischen Randgebirge aufgefaßt werden.

Suess konnte noch kein einheitliches Gesetz der ganzen alpinen Zone zugrunde legen. Nach Suess sind Apennin und Atlas noch Alpiden, eine Auffassung, die wenig berechtigt war. Termier konnte schon der westlichen Mittelmeerzone eine andere genetische Gliederung zugrunde legen. Freilich, auch er vereinigt noch Alpen, Pyrenäen, betische Kordillere, Atlas und Apennin zu einer großen Einheit, die er

Digitized by Google

den Dinariden gegenüberstellt. Aber, und das ist das Wichtige wieder, er unterscheidet in dieser großen alpinen Einheit zwei ganz verschiedene durch die tyrrhenische Masse getrennte Gebirge. Apennin und Atlas sind eine Einheit, im Atlas einheitlich südbewegt. Dagegen ist die betische Kordillere nordbewegt. Die Verbindung vom Atlas in die betische Kordillere, die Suess angenommen hat, existiert nicht nach Termier. Der Bogen des marokkanischen Riffes wird durch das Untertauchen eines Deckenscheitels erklärt. Die betische Kordillere und der Atlas werden nach Termier durch die Narben-(Wurzel-) Region von Fez geschieden. Von ihr fließen die Decken im Atlas nach Süden, gegen die betische Kordillere nach Norden. Teile des ganzen Gebirges liegen auf dem Boden des Mittelmeeres versenkt.

Der verschlungene Faltenknäuel hat im Laufe der Zeit mannigfaltige Deutungen erfahren. Aber immer mehr erkannte man allgemeine Gesetze. In der allgemeinen regionalen Betrachtung der alpinen Zone habe ich bereits 1911 in der alpinen Region zwei Hauptbewegungsrichtungen erkennen können, eine Bewegung nach Nord und eine nach Süden. Das Vorland für diese Bewegungen war einerseits das europäische Vorland, auf der anderen Seite die afrikanische Tafel. Zwischen diesen beiden Massen erscheint die alpine Region als eine einheitliche Zone, entstanden durch das passive Auspressen dieser Region zwischen den kontinentalen Massen.

So ist ein allgemeines genetisches Gesetz gegeben, das zugleich die Anschauungen von E. Suess und von Termier vereinigte und die alpine Zone als eine Einheit, die orogenetische Zone, kurz gesagt, als Orogen auffaßt, in der wieder für jedes Gebirge die Lehre von Suess von den einseitigen Bewegungen richtig war. So wurde diese Lehre wieder von anderen Gesichtspunkten und von höherer Warte aus bestätigt.

So liegt das Problem der Gebirgsbildung nicht in der Lösung des Baues jedes einzelnen Gebirges, sondern erst in der Zusammenfassung aller dieser Gebirge zu einer Einheit. So war es notwendig geworden, als der Deckenbau in den West- und Ostalpen in den allgemeinen Zügen erkannt worden war, Stellung zu den Dinariden zu nehmen und die Genetik derselben in bezug auf die Ostalpen zu betrachten. Auch die Dinariden wurden als Deckengebirge erkannt, wenngleich der gewaltige Überfaltungsbau der Ostalpen nicht nachgewiesen werden konnte.

So konnte ich in dem Profil von der Adria zur Donau die Grundlagen des Baues der alpinen orogenetischen Zone erkennen und von diesen Erfahrungen aus war es möglich, allgemeine Gesichtspunkte aufzustellen. (Siehe Fig. 23, Seite 126.)

Digitized by Google

Die alpine orogenetische Zone des Mittelmeeres zerfällt demnach in zwei Stämme: Der Stamm der Alpiden und der Stamm der Dinariden. Der erstere umfaßt die allgemein nordbewegten über das europäische Vorland hinüber tretenden Ketten von der betischen Kordillere bis zum Kaukasus, der zweite alle Ketten vom Atlas über die Dinariden zu den Tauriden. Diese alle erscheinen primär einheitlich auf das afrikanische Vorland bewegt; sekundär kommen auch andere Bewegungen vor, so im Apennin Bewegungen gegen Nordosten, entstanden durch die Eindrehung des Orogen in einem Bogen, ähnlich dem Bogen der Karpathen, der in den transsilvanischen Alpen sekundär südbewegt erscheint.

Umgekehrt zeigt der Stamm der Alpiden immer allgemeine Bewegung auf das Vorland nach Norden. Typisch ist diese Bewegung in der betischen Kordillere, in den Nordpyrenäen, in den Alpen, in den Karpathen, im Balkan vorhanden.

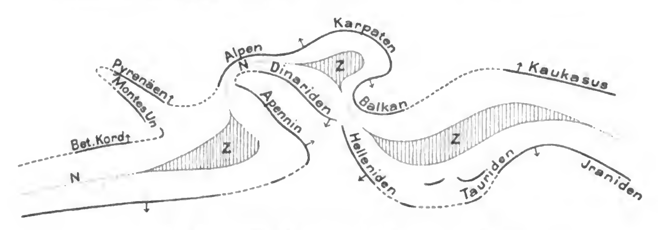


Fig. 26. Schema der Gliederung des alpinen Orogen. Der nordbewegte Stamm der Alpiden durch Narben (N) oder Zwischengebirge (Z) stets streng geschieden von den primär südbewegten Dinariden.

Wir müssen hier unterscheiden: die allgemeine primäre Orogenbewegung, Bewegungsrichtung des Orogen, und die sekundäre Bogenbewegung. (Hauptbewegung und Differentialbewegung.)

Diese zwei Stämme der Gebirge bilden eine Einheit, das Orogen. Die zwei Stämme kehren die Außenseite des Gebirges dem Vorland zu. Mit der Innenseite lehnen sie sich aneinander, sind durch eine Narbe getrennt, ähnlich wie die dinarische, oder aber ein weites Feld schaltet sich zwischen die beiden Stämme ein. So das ungarische Tiefland zwischen Karpathen und Dinariden. Ich habe diese Zone als Zwischengebirge bezeichnet, weil es sozusagen zwischen zwei Gebirgen liegt.

Damit lernen wir die Haupttypen der alpinen Orogene kennen, einen Typus, der die beiden Stämme durch eine Narbe scheidet, den

Digitized by Google

Narbentypus, und einen Typus, den wir als Zwischengebirgstypus bezeichnen wollen. Der erstere wird repräsentiert durch die Dinariden und die Alpen, der zweite durch die Dinariden und die Karpathen. Der erstere kann auch als der verengte Typus bezeichnet werden, der zweite als der erweiterte.

Die allgemeinen Gesetze des alpinen Orogen.

Wir werden später den Bau des alpinen Orogen genauer erklären. Hier wollen wir nur die allgemeinen Gesetze aufzeigen, die das Orogen beherrschen, um mit den hier gewonnenen Erfahrungen an die übrigen Orogene der Erde herantreten zu können.

Das alpine Orogen ist eine durchschnittlich 1000 km breite Zone von eng verschlungenen Ketten zwischen den erstarrten Massen der afrikanischen Tafel und dem europäischen Vorlande.

Die Breitendimensionen sind:

Guadalquivir	—	Südabfall des Südalgerischen Atlas .	700 km
Rhone-Mündung	—	„ „ „ „ .	1000 „
Karpathen	—	Adria	900 „
Balkan	—	Kreta	900 „
Krim	—	Cypern	1100 „
Wladikawkas	—	Syrien	800 „

Tektonisch scheidet sich der Alpidenstamm scharf von den Dinariden. Der Alpidenstamm bildet eine in sich mannigfaltig gewundene Linie, ähnlich auch die Dinariden. Wo die beiden Stämme sich am meisten nähern, in den Alpen, sind die höchsten Erhebungen, offenbar die stärkste Auspressung. Hier herrscht der Narbentypus der Orogene. Östlich und westlich treten die Äste auseinander. Das ungarische Tiefland schaltet sich ein. Es wird zum Zwischengebirge. Zurzeit ist es nicht sicher, ob in der Tiefe des Zwischengebirges Deckenbau herrscht. Soweit es heute bekannt ist, findet sich in allen Gebirgen um die Ebene, im ungarischen Mittelgebirge, wie im Siebenbürgischen Erzgebirge Deckenbau. Man könnte auch daran denken, daß hier eine größere Scholle inmitten des Orogen emporgetragen wurde, die nicht in dem Maße dem orogenen Zusammenschub verfallen ist, wie die Randketten. Wahrscheinlich ist, daß der alpine Deckenbau tief in das Zwischengebirge hinein sich fortsetzt und dieses eher eine ruhigere Tektonik vortäuscht, wenngleich doch betont werden muß, daß der Narbentypus zweifellos die intensivere Auspressungstektonik aufweist, als der Zwischengebirgstypus. Der Narbentypus ist hier bloß in der Breite ein Drittel des Zwischengebirgstypus. Wir werden daraus schließen müssen, daß in der Narbe ganz beträchtliche Teile der Erdrinde, die im Zwischengebirge noch vorhanden sind, versenkt wurden. Dies

Digitized by Google

stimmt auch mit allen geologischen Erfahrungen, besonders in den Westalpen, wo wir in der Narbe zwischen Alpen und Dinariden (Ivrea-Bellinzona) eine Zone vor uns haben, die zur Wurzelzone für eine Reihe von Decken wird. Und doch ist es nur eine ganz schmale Zone, die den echt dinarischen Bau von den Tauchdecken der penninischen Decken trennt. Auch die Schweremessungen bestätigen nach Heim ganz und gar das geologische Bild, indem im Gebiet der Wurzelzone die Schweresynklinale des nördlich vorliegenden Deckenlandes rasch ansteigt. Der Massendefekt verschwindet.

Dies alles soll hier nun als Einleitung und zum Verständnis des Folgenden erläutert werden. Eine genauere Darstelluug wird den Schlußteil dieses Kapitels bilden.

Tektonisch werden alle Stämme durch Deckenbau, der immer auf das Vorland geht, charakterisiert. Jeder Stamm wird von der einseitigen Bewegung auf das Vorland als der primären beherrscht. Sekundär kann in der Bogenbewegung eine andere Richtung erscheinen, sekundär kann auch jedes einzelne Glied eines Stammes rückgefaltet sein.

Morphologisch ist das Orogen charakterisiert, daß die Stämme als Randketten einheitlich weit zu verfolgen sind. Die Randketten laufen in Bögen dahin, verschlingen sich, umwallen im erweiterten Typus das hinter ihnen liegende Zwischengebirge.

Faziell siud die einzelnen Stämme durch die selbständige Entwicklung der verschiedenen Faziesreihen des Mesozoikum charakterisiert. Wir finden die (abyssale), bathyale, neritische Entwicklung des Mesozoikum. Ganz charakteristisch sind in dieser Hinsicht etwa die Kalkhochalpen der Ostalpen, die die Trias in bathyaler Entwicklung enthalten. Sie ist nur kalkig entwickelt und wird bis 1500 m eine einheitliche Kalk-Dolomit-Entwicklung der Trias. Den Gegensatz dazu bilden die Voralpen. Diese sind durch die neritische Fazies gekennzeichnet. Charakteristische Faziesreihen sind ferner die Flyschentwicklung, die Molasseentwicklung u. a. Unter den Eruptivgesteinen treten die sogenannten „grünen Gesteine" als wichtige Leitgesteine heraus. Diese sind nur ein Teil einer für die Orogene leitenden Gesteinsvergesellschaftung, der pazifischen Sippe, im Sinne von Becke und Prior. Leitende Gesteinsreihen sind gewisse metamorphe Schieferentwicklungen des Mesozoikum, wie die Bündnerschiefer (Schistes lustrés, Schieferhülle).

Deformationen des Orogen. Vulkanismus.

Das Orogen ist aber nicht mehr ganz erhalten; Teile davon wurden neuerdings versenkt. So sind Teile der Randketten im taurischen Bogen, im Balkan-Kaukasusbogen versenkt. Im westlichen Mittelmeere ist wieder mehr der innere Teil des Orogen weitgehenden Tieferlegungen


Digitized by Google

auf den Meeresgrund unterworfen worden. In der Aegäis geht quer durch das ganze Orogen eine Versenkungszone.

So sehen wir jüngere Deformationen des Orogen, und zwar im Streichen und senkrecht darauf, longitudinale und transversale Deformationen und junge vulkanische Erscheinungen.

Mit der Deformation des ganzen Orogen steht ein gewaltiger junger Vulkanismus wieder im Zusammenhange. Er begleitet die großen Einbrüche des Orogen, wie sie uns in den Senkungen des tyrrhenischen Meeres, des Mittelmeeres, der Aegäis, des Schwarzen Meeres vorliegen. Atlantische und pazifische Gesteine finden sich wieder. Atlantisch z. B. ist der Vesuv, während der Aetna mehr für pazifisch gehalten wird. Ausgesprochen pazifisch sind die Liparen. Pazifisch sind die Vulkane der Ketten (Santorin). Atlantische Gesteine finden sich bei Smyrna, vielleicht in Verbindung mit den ägäischen Einbrüchen.

Häufig ist das Alter dieser, besonders der atlantischen Gesteine, nicht sicher. Aber soviel tritt klar heraus und muß deutlich geschieden werden: Der Vulkanismus, der mit der Entstehung der orogenetischen Zone, mit den vulkanischen Gesteinen der Deckenbewegungen zusammenhängt, und der Vulkanismus, der bei der Zertrümmerung des ganzen Orogen in Schollen einhergeht. Der erstere ist viel älter, kretazisch-tertiär, der zweite meist sehr jung. Der erste ist wahrscheinlich ganz pazifisch und hat vielfach die alpinen Deckenbewegungen mitgemacht (metamorphe-grüne Gesteine). Die atlantischen Gesteine sind frische Gesteine.

Ein auffallender vulkanischer Zug ist der Vulkanismus des syrischen Grabens, der mit seinen atlantischen Basalten aus dem Hegâz in mehr oder weniger geschlossenen Zügen bis an die Außenketten des Taurus reicht, dann die Ketten quer durchsetzt und sich bis an das schwarze Meer verfolgen läßt. Hier auf dieser meridionalen, sogar das Gebirge quer durchsetzenden Spalte kommt zweifellos ein sehr junger Vulkanismus atlantischer Art zum Ausdruck, der mit den meridionalen Dislokationen zusammenhängt.

Allgemeine Genetik.

Das alpine Orogen ist ein Teil der Tethys, des mesozoischen Mittelmeeres, das sich zwischen dem afrikanischen Kontinentalsockel und dem europäischen Block ausdehnte. Die Erkenntnis, daß in der alpinen Zone des Mittelmeeres sogar in jedem Stamme von der Küste gegen das Innere des Meeres sich gesetzmäßig neritische (Flachsee), bathyale (Hochsee) und abyssale (Tiefsee) Fazies verfolgen lassen, zeigt uns, daß die Tethys als kein flaches schmales Meer zu denken ist, als eine schmale Geosynklinale mit Flachsee-Ablagerungen, sondern als ein offenes Weltmeer, als ein Ozean mit Tiefsee-, Hochsee- und Flachsee-

Digitized by Google

sedimenten, genau so, wie etwa heute der atlantische Ozean. Die Orogene sind zum großen Teil die ehemaligen Ozeanböden. Daß es sich hier wirklich um Ozeanboden handelt, zeigt auch folgende Überlegung.

Der Deckenbau der Alpen mit seinen gewaltigen Überschiebungen führt zu einer bedeutenden Verkürzung des Rindenstückes, aus dem die Alpen hervorgegangen sind. Sie wird auf das 10fache der heutigen Breite geschätzt (Simplon). Wir begnügen uns hier aber mit viel bescheideneren, allgemein anerkannten Dimensionen, mit einer Verkürzung von 1 : 2—3. Darnach ist dies heute 1000 km breite Orogen vor der Überfaltung 2000—3000 km weit gewesen, d. i. ungefähr die Breite des nordatlantischen Ozeans.

Wir haben den Deckenbau der West- und Ostalpen, der Dinariden in ihren Hauptzügen kennen gelernt und versuchen nun ein Bild der Entstehung des Ganzen zu geben, um Einblick zu erhalten in die Genetik des alpinen Orogen.

Wie die Skizze des Deckenbaues des ganzen alpinen Orogen sowie das Übersichtsprofil (Fig. 23 und Fig. 24) zeigen, haben wir folgende große Deckeneinheiten zu unterscheiden.

In den Alpiden.

Die ostalpine Decke, gegliedert in eine hochostalpine, ober- und unterostalpine Decke. Die erstere umfaßt der Hauptsache nach Altpaläozoikum mit der Hallstätter und der hochalpinen Decke auf dem Rücken. Die Hallstätter Decke liegt dabei unter der hochalpinen. Die hochostalpine Decke findet sich nur in den Ostalpen, östlich des Inn bis an die Donau und bildet den oberen Teil der Grauwackenzone und die Kalkhochalpen der nördlichen Kalkalpenzone. Die Wurzel dieser Decke suchen wir in der Dinaridennarbe. Die obere ostalpine Decke dagegen besteht aus dem ostalpinen Grundgebirge und den ostalpinen Kalkalpen. Diese sind durch die bajuvarische, niederösterreichische Fazies charakterisiert. Zu dieser Decke gehören in den Westalpen (die Silvrettadecke) (Staub), z. g. T. die Klippen der Voralpen, die rhätische Decke mit den Ophioliten und Radiolariten (mit der Gosau?). Unterostalpin sind z. T. die Decken der Voralpen, dann die kristallinen Teildecken von der Margna bis zur Campodecke. In den Ostalpen die Radstätter-, die Brenner-, die Semmeringdecken.

Eine weitere große Einheit bilden die penninischen (lepontinischen) Decken. Am Außensaume der ganzen Alpen liegen die helvetischen Decken (Flyschzone der Ostalpen).

In den Dinariden.

Auf der Innenseite die bosnische Schieferhornsteinentwicklung mit der wahrscheinlich abyssalen Fazies des Mesozoikum. Sie läßt sich bis

Digitized by Google

Karlstadt in Kroatien verfolgen. Möglicherweise ist das hornsteinreiche Mesozoikum des Bačatales die Fortsetzung dieser Decke. Nach außen folgt gegen das Meer die bosnisch-albanische Tafel mit sehr kalkreichem (bathyalem) Mesozoikum. Auch diese Decke verschwindet gegen Westen. Sie ist bis an den Isonzo zu verfolgen und bildet in Krain die Deckfalte von Pölland. Nach außen tritt allenthalben die adriatische Außenzone zutage, die am Außensaume der Dinariden bis an die oberitalienischen Seen zu verfolgen ist. Auf der Innenseite folgt über der Bačadecke die Deckenmasse der Steineralpen und der Südtiroler Dolomiten. Diese geht nach Osten hinaus in die Ebene und läßt sich weiter an den kroatischen Inseln (Daruvar) erkennen. Hier begleiten sie auch Granite, die möglicherweise als die Fortsetzung der Tonalite von Eisenkappel, also der Narbenzone, angesprochen werden können. (Fig. 27, Seite 146 und 147 und Fig. 24, Seite 128.)

Von der Narbe gehen die Bewegungen in den Alpen nach Norden, in den Dinariden nach Süden. Die bosnische Schieferhornstein-Zone ist nach Süden bewegt. Sie ist die innerste Decke der Dinariden.

Nun ist ganz merkwürdig, wie die höheren, inneren Decken in den Alpen und in den Dinariden gegen Westen hin verschwinden, wie dabei das Gebirge enger und höher wird. Zugleich steigert sich auch die tektonische Komplikation, die tieferen Decken werden sichtbar.

Die hochostalpine Decke, die in den Karpathen, im ungarischen Mittelgebirge weit ausgebreitet ist, erscheint in den Ostalpen nur als Ausläufer von Osten her, als eine große Klippe in der östlichen Hälfte der Ostalpen. Soweit wie ihre Deckenverbreitung ungefähr reicht, erstreckt sich auch die Wurzelregion, die karnische Hauptkette mit ihrem reichen Silur und Devon usw. Suess hat diesen Teil als einen fremden Bestandteil zwischen Alpen und Dinariden angesehen. Westwärts von der Innlinie ist die hochostalpine Decke nicht mehr vorhanden. Im Pustertal sehen wir desgleichen die Wurzeln zwischen Quarzphylliten auskeilen. Ähnlich ergeht es auch der Decke der Steineralpen und der Südtiroler Dolomiten. Sie reicht im Westen bis an die Etsch. Dann kommt bereits das Etschbuchtgebirge, das der Außenzone angehört. Erst jenseits wieder kommt in der Brentagruppe vielleicht nochmals ein Splitter der Südtiroler Dolomitdecke. Weiter westlich stößt dann die adriatische Außenzone unmittelbar an die Wurzelregion der oberostalpinen Decke (Tonale). Noch weiter nach Westen verringert sich auch diese ungemein stark, die penninischen Elemente werden nur mehr durch die schmale Zone von Ivrea von der dinarischen Außenzone getrennt. Diese wird bereits von den westalpinen Geologen als die Wurzel für die oberen ostalpinen Decken angenommen.

Die Verhältnisse, wie sie dort liegen, sprechen ohne Zweifel für eine solche Verbindung.

Digitized by Google

Wenn das Seengebirge wirklich die direkte Fortsetzung der adriatischen Außenzone bei Triest ist, und daran, glaube ich, kann nicht gezweifelt werden, dann müßte dieselbe adriatische Außenzone bei Triest auch als die Wurzelzone für die ostalpine Decke angesehen werden. Das stimmt aber nun absolut nicht mit den Verhältnissen in der Natur.

Damit kommen wir zur Frage nach dem wahren Verhältnis der Alpen und Dinariden, zum Problem der dinarischen Narbe.

Die Frage ist, was geschieht mit den inneren ostalpinen und dinarischen Decken im Westen? Ist das heutige Abgrenzungsgebiet dieser Decken deswegen so, weil diese Faziesgebiete auch in der alpinen Geosynklinale nur so weit gereicht haben? Ist die alpine Geosynklinale dort enger geworden? Oder aber, wir nehmen an, auch diese inneren Geosynklinalgebiete waren vorhanden, sind aber im Laufe der Deckenbildungen im alpinen Orogen verloren gegangen.



Fig. 27. Schema des Baues des alpinen Orogen im Profile Dinariden.

1 Adriatische Deckenordnung.
2 Die unterdinarischen Decken mit
3 Paläozoikum (Karbon). Decke des Zukali in Albanien (Nopcsa).
4 Die unterdinarischen Decken der bosnisch-albanischen Tafel.
5 Decke der bosnischen Flysch-Hornsteinzone. (Decke der Merdita in Albanien, Nopcsa) (oberdinarisch).

Wohin sind sie gekommen? Sind sie ausgepreßt oder versenkt worden?

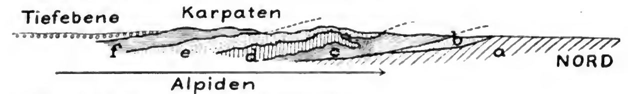
Es erscheint als unwahrscheinlich, daß Faziesgebiete von solcher Größe und Umfang, wie die inneren ostalpinen und dinarischen, die sich von Osten so weit her verfolgen lassen, nicht vorhanden gewesen wären. Wir müssen aus paläontologischen Gründen annehmen, daß sowohl im Paläozoikum und im Mesozoikum ein Austausch jener eigenartigen Faunen längs der alpinen Geosynklinale erfolgte, der das Auftreten so reicher paläozoischer und mesozoischer Faunen in der karnischen Hauptkette und in Sizilien erklärt. Vor allem das Mesozoikum kommt in Betracht. Die Hallstätter Faunen der süditalienischen Hallstätter Kalke und die dinarisch-alpinen stammen aus einem Milieu. Die Verbindung ist immer angenommen worden. Sie ist wahrscheinlich. Sie kann nicht quer über die Außendecke, quer über die Adria gedacht werden. Sie muß in der Mitte, im tieferen Geosynklinalgebiet der Tethys gesucht werden.

Digitized by Google

Das führt uns aber zur Annahme der Existenz der inneren dinarischen und alpinen bathyalen und abyssalen Geosynklinalgebiete.

Sie sind versenkt oder ausgepreßt worden.

Bei Bellinzona stößt die adriatische Außenzone an die Wurzeln der oberostalpinen bezw. rhätischen Decke. Im Profil von Brixen in Tirol kommt das Tauernfenster den Dinariden ungemein nahe. Quarzphyllite (Granit) bilden die Scheide. Weiter nach Osten weitet sich die trennende Wand. Zugleich stellen sich Wurzeln der oberostalpinen und hochostalpinen Decke ein. Noch weiter nach Osten sinkt die oberostalpine Decke unter die Tonalite von Eisenkappel. Der Südseite der Narbe entsteigen im Koschatazuge die Steineralpen. Diese haben auf der Südseite das Bača-Mesozoikum, dem liegt die unterdinarische Decke vor, der die adriatische Außenzone.



der Dinariden und Karpathen (Zwischengebirgstypus).

Alpiden.

a Sudetisches Grundgebirge.
b Molassezone.
c Beskidische Decke (Flyschzone), (helvetisch).
d Hochtatrische Decken } (unterostalpine Decken).
e Subtatrische Decken }
f Ostalpine Decken des ungarischen Mittelgebirges (hochostalpine Decken).

An Stelle der schmalen Zone von Ivrea liegt hier eine ganze Reihe wohl entwickelter Decken.

Wir kommen zu dem Schlusse, daß das Seengebirge nicht die Wurzel für die ostalpinen Decken sein kann, sondern daß in der Zone von Ivrea eine breite Narbe steckt, daß hier die Außenzone der Dinariden fast mit penninischen Elementen verschweißt wird, also ein großes Stück der alpinen Geosynklinale fehlt. Diese Narbe, die bei Bellinzona so scharf ist, geht mit derselben Schärfe nach Osten bis an den Tonale, von hier an stellen sich der Reihe nach die inneren dinarischen und ostalpinen Decken ein, die Narbe wird weniger groß, verliert an Bedeutung, ja man kann sogar fragen, wohin sie geht. Liegt der Tonalit von Eisenkappel in der Narbe, wie Suess angenommen hat? Die Frage ist nicht so leicht zu lösen und hängt mit der bosnischen Hornstein-Schieferdecke zusammen.

Ist diese Einheit das Abyssal der Geosynklinale, dem nördlich (die Steineralpen) und südlich (die bosnisch-albanische Tafel) ein weites

Digitized by Google

Bathyalgebiet vorlag, wie es in der Tat auch scheint, ein Glied der Dinariden, nach Süden überschoben (Decke der Merdita in Albanien) ist dieses Abyssal das Zentralgebiet, das Ostalpen und Dinariden scheidet, dann sind die Steineralpen und ihre Fortsetzung ein Teil des ostalpinen Geosynklinalgebietes, dann liegt dieses auch im Aufbau typisch ostalpine Gebiet im Rahmen der Dinariden, d. h. wir müßten die Grenze der Dinariden weiter nach Süden verschieben, ins bosnische Abyssalgebiet, bezw. die Bačazone. Dann wäre hier die Grenze zwischen Alpen und Dinariden, und die Tonalitzone von Eisenkappel hätte nicht die Rolle der Narbe. In dem Falle wären die Steineralpen ein Stück der hochalpinen Decke der Ostalpen. Das stimmt auch der Fazies nach.

Wir wollen das Problem hier nur aufrollen. Die nähere Untersuchung aller der Fragen wird vielleicht Licht bringen. Wenn wir auch nichts Bestimmtes sagen können, das eine ist sicher: Die Frage Alpen und Dinariden ist keine so einfache und nebensächliche, sie ist von großer prinzipieller Bedeutung. Erst aus ihrer Lösung erhalten wir Einblick in die Genetik der Alpen und Dinariden, Einblick in die Genetik des alpinen Orogen und damit überhaupt erst eine klare Vorstellung von der Entwicklungsgeschichte einer orogenetischen Zone. Wir müssen hier offenbar mit großen Maßstäben rechnen, die Verhältnisse nicht für so einfach halten, wie sie scheinen. Das Problem der dinarischen Narbe, das die alpinen Geologen schon so lange beschäftigt, ist noch nicht ganz gelöst.

Wir müssen nach diesen prinzipiellen Ausführungen noch einiges über den Bau der Alpen und Dinariden im Rahmen des Ganzen sagen, so weit er sich erkennen läßt.

Das Orogen zeigt also in seinen Stämmen, in seinen Deckenbewegungen die Form eines großen Fächers. Die Decken quellen aus der Mitte heraus und fließen auf die Ufer des Vorlandes.

Die Deckenbewegungen beginnen unserer Meinung nach in den Ostalpen während der Gosau, ähnlich wie in den Karpathen. Bei diesen Bewegungen werden die penninischen Decken überdeckt, die ostalpinen Decken dringen weit nach Norden vor. Zu gleicher Zeit dringt aber auch die Schiefer-Hornsteindecke der Dinariden nach Süden vor. Die Gosau, als Beweis der interkretazischen Bewegung, legt sich mit ihren charakteristischen Gliedern über diese Decken.

Die Außenzone der Alpen und Dinariden wird noch nicht in den Bereich der Bewegungen einbezogen. In den Alpen sicher nicht die helvetische Zone, nach der Meinung der westalpinen Geologen auch nicht die penninischen Zonen der Westalpen, in den Dinariden sicher nicht die Außenzone und wahrscheinlich z. g. T. auch nicht die bosnisch-albanische Kalktafel, bez. deren Fortsetzung nach Westen an den Isonzo.

Digitized by Google

In allen diesen Gebieten herrscht völlige Bodenruhe. Erst im Miozän werden auch diese Zonen überfaltet. Doch geht der Deckenbau der Dinariden anscheinend nicht so tief als der der Alpiden. Die Dinariden erscheinen besonders in den Alpen selbst fast nur wie ein Anhängsel. Die Bewegung der Alpiden nach Norden erscheint jedenfalls viel stärker akzentuiert als die Südbewegung der Dinariden.

Weiter ist für alle Fälle bemerkenswert, daß sich in und um das Narbengebiet immer wieder Intrusiva finden. Sie sind von verschiedenem Alter, teils jung mesozoisch, teils sehr jung, nach der Faltung erst aufgedrungen (spät insubrische Intrusion der Disgrazia). Ein gewaltiger Tiefenvulkanismus gibt sich hier kund. Er ist anderer Art als die vulkanischen Phänomene während der Deckenbildung. Die vielen Grüngesteine der penninischen Decken, der rhätischen Decken hängen mit der Überfaltung ursächlich zusammen. Manche scheinen an Überschiebungslinien zu liegen. In der Tiefe der Grenze der Alpen und Dinariden dürften große Batholithen stecken, von denen nur kleine Teile aufgedrungen sind, die Alpen und Dinariden gleichsam verschweißend (Steinmann). Die älteren Eruptiva (Grüngesteine) sind alle pazifisch.

Die Schwereverhältnisse sagen uns in gleicher Weise in den Ostalpen und Westalpen, daß die Schweredefekte, soweit dies bekannt ist, im Innern der Alpen ihr Maximum erreichen. Von hier gegen die Narbe steigen sie rasch an. Bei Bellinzona wird wieder normale Schwere angetroffen. Es zeigt sich in den Ostalpen in gleicher Weise in den inneren Teilen ein Defekt-Maximum, gegen die Narbe ein Anwachsen der Schwere. Da die Dinariden ein Deckenland sind, so wird der normale Schwerewert erst weiter gegen das Vorland zu erreicht werden. Das stimmt alles schön mit den geologischen Befunden.

Dies sind die Verhältnisse eines Orogen im verengten Narbentypus. Es fragt sich, wie haben wir den erweiterten Zwischengebirgstypus zu deuten.

Das Zwischengebirge.

Wir können hier als Beispiel die ungarische Tiefebene betrachten. (Siehe Fig. 27.) Sie gibt den Bauplan des erweiterten Orogen sehr gut wieder. Überall gegen den Rand, wo wir Gebirge finden, herrscht Deckenbau. In den Zentral-, in den Ost-, in den Südkarpathen, in den Dinariden. Dann ragen aus dem Tieflande Schollen des Gebirges heraus, wie der Bakony, flachliegende Schollen, ohne besondere Störungen. Sind sie autochthon oder schwimmend? Ohne auf eine Diskussion dieser Fragen einzugehen, betrachten wir die allgemeinen Verhältnisse des Orogen. Es wird vor allem viel breiter. Soweit es bekannt ist, zeigen auch die Decken nicht ein so starkes Aufeinanderwälzen. Es ist

Digitized by Google

mehr ein Hintereinander, besonders in den Karpathen, aber auch in den Dinariden sehen wir nicht Tiefendecken vom Typus der penninischen. In den Südkarpathen stellt sich in der Außendecke eine metamorphe Schieferdecke ein.

Es ist ein etwas ruhigerer Bau, dessen Ränder stehen geblieben, bezw. erhöht worden sind, während die inneren Teile jung gesunken und mit Schottern tief ausgefüllt sind. Dieses Einbruchsfeld in der Mitte des Orogen begleiten Eruptiva, teils pazifische (Oberungarn usw.), teils atlantische (Ditro), teils intermediäre (Gleichenberg) in Steiermark. Liegt hier in der Tiefe des Beckens nicht vielleicht ein großer Batholith? Die Schweremessungen zeigen positive Werte weit herum im Becken. Wahrscheinlich liegen die Decken, wenn überhaupt vorhanden, sehr tief versenkt, dann große kristalline Massen, dazwischen vielleicht Batholithen. Dies kann möglich sein. Auch die Erscheinungen der Schwere wäre von diesen Gesichtspunkten aus verständlich.

Im erweiterten Typus sehen wir jedenfalls einen z. T. anderen Bau als im Narbentypus. Es ist der normale Orogenbauplan. Vom Zwischengebirge aus gehen die Bewegungen ganz gesetzmäßig gegen das Vorland. Die Kontinentalschollen kommen sich bei weitem nicht so nahe. Die Decken der Randketten werden durch die Unterführung der Vorländer erzwungen. Die jüngsten Bewegungen zeigen sich besonders deutlich in der Vortiefenregion.

Das erweiterte Orogen ist zweiseitig gebaut. Die Bewegung geht gegen außen. Jede Randkette aber zeigt streng einseitige Bewegung auf das Vorland.

Das Orogen fließt aus dem orogenen Trog über die Kontinentalränder über.

Im Profil 23 wurde versucht, das Schema des Baues der Alpen und Dinariden zu entwerfen, das Verhältnis der beiden Vorländer der Gebirge zueinander festzuhalten.

Wir denken uns, daß das Vorland der Alpen sanft sich gegen Süden abdacht. Dafür sprechen die Schwereverhältnisse. Die größten Defekte liegen in den Tauern, soweit wir nach den Messungen von Sterneck das obige Profil beurteilen können. Hier haben wir das Maximum des Faltenhaufens anzunehmen. Hier liegen die penninischen Decken. Sie sind ein Gebirge für sich. Ihr Grundgebirge, ihr Mesozoikum ist total verschieden von dem der Ostalpen. Eine Welt liegt zwischen beiden. Das Grundgebirge der ostalpinen Decken ist ganz anders als das der penninischen Decken. Das gleiche gilt für die jüngeren Glieder.

Zwischen dem Penninikum und den Ostalpen müssen wir eine Kluft legen. Die zwei Decken können nicht oberflächlich verbunden werden.

Digitized by Google

Ihre Teilung ist eine tief gehende. Es sind, wie gesagt, zwei Gebirge, die heute übereinander liegen.

Um die große Faziesdifferenzierung zwischen beiden verstehen zu können, müssen wir diese beiden Faziesbezirke 100 und mehr km auseinander legen. Diese Maße erreichen wir am verständlichsten dann, wenn wir uns vorstellen, daß die penninische Decke ähnlich wie das Vorland flach südwärts hin absinkt, viele Kilometer noch unter dem ostalpinen Gebirge liegend. Darauf liegt das ostalpine Gebirge. Auf dem die dinarische Scholle. Diese ist hochgehoben, weit über das ostalpine Gebirge in der Tiefe darüber gegangen. Die dinarische Stirn bohrt sich in das Ostalpine ein. Die ganze Tektonik des Orogen erscheint in Abhängigkeit vom dinarischen Vordringen.

Argand ist zu dem gleichen Bilde gekommen. Nur nehmen die Schweizer Geologen mit Termier an, daß die Dinariden über die Ostalpen auch noch oberflächlich weit darüber gegangen sind, so z. B. Staub. Die Dinariden spielen also in dieser Vorstellung die Rolle des traineau écraseur.

Wie weit diese Vorstellung berechtigt ist, geht aus dem obigen Profile hervor. Keinesfalls kann ich mich nach den Verhältnissen im Profile Triest—Wien der Termierschen Auffassung in seiner Gänze anschließen.

Das Profil Triest—Wien gehört zu den interessantesten der ganzen Alpen. Es gibt Aufschluß über das Verhältnis der Alpen zu den Dinariden, über die Genetik des alpinen Orogen.

Wir möchten in den Alpen im allgemeinen einen ungemein stark komprimierten orogenen Teil sehen, der den reinen orogenen Bauplan etwas verwischt zeigt, insofern, als das Orogen stellenweise fast einseitig gebaut wird, infolge des heftigen Vordringens der Dinariden, bezw. infolge tiefgehender Versenkung (oder Verschluckung) der inneren Decken der Alpen und Dinariden.

In den Westalpen fehlt der ganze Deckenkomplex, der durch die Gosau charakterisiert ist, also die hochostalpine und oberostalpine Decke. Spuren von Gosau in den Préalpes deuten auf die einstige Existenz dieser Faziesgebiete hin.

Im verengten Orogentypus der Alpen schiebt sich die eine Kontinentalscholle (Dinaridenscholle) über das alpine Vorland weit hinweg. Das Scharnier ist das alpine Orogen.

Nach diesen allgemeinen Erfahrungen wenden wir uns den Orogenen der Erde zu und zwar zuerst der Fortsetzung der alpinen Zone nach Osten, bis in den Sunda-Archipel. Diesen Teil wollen wir mit dem alpinen Orogen Südeuropas zusammenfassen und als mediterranes Orogen bezeichnen.

Digitized by Google

Der östliche Teil des mediterranen Orogen.

Morphologie.

Wir verfolgen die Ketten des Kaukasus nach Osten. Sie erscheinen jenseits des Kaspisees wieder, ziehen als die Randketten von Turkestan an den Amu daria, umfangen in großem nordgewendeten Bogen das Pamirplateau. Die Fortsetzung nach Osten geht durch den Kuenlun, südlich der Senke von Tsaidam durch, biegt am Hoangho nach Süden und ein langes Band von Ketten geht durch Jünnan längs des Mekong durch die hinterindische Halbinsel und bricht an Riasküsten ab.

Der taurische Bogen setzt sich in den iranischen fort. Am Indus setzt eine neue Faltenwelle ein. Dann folgt die hoch emporgetragene Kette des Himalaya. Am Knie des Brahmaputra biegen die Wellen nach Süden mit scharfem Knicke um. Die birmanischen Ketten schließen an und ziehen durch Hinterindien. Teile davon sind eingebrochen. Aber die Ketten laufen im gewaltigen Sundabogen auf Neuguinea zu.

Wieder schließen diese Randketten eigenartig gebaute Zonen ein. In Kleinasien umwallen sie ein Hochland, in Armenien rücken sie mehr aneinander, in Iran laufen sie wieder auseinander und umwallen das Hochland von Iran. Zwischen dem Indus und dem Syr Daria werden sie im Plateau von Pamir neuerdings eingeschnürt. In Tibet laufen sie weit auseinander, um sich im Knie der großen Umbiegung nach Süden einzuschnüren.

So folgen gesetzmäßig die zwei Typen aufeinander. Die Randketten scheiden sich meist scharf vom Vorlande. Meist liegen in ihnen die größten Höhen. Die Zwischengebirge liegen tiefer.

Dann zeigt sich die Erscheinung, daß das mediterrane Orogen in Tibet am höchsten emporgetragen wird. Nach Westen und Osten sinkt es in die Tiefe, nach Westen langsam, nach Osten, bezw. Süden, rasch.

Dem Hochland von Iran folgt das von Kleinasien, das bereits tiefer liegt, dann folgt die ungarische Tiefebene, dann das Zwischengebirge des westlichen Mittelmeeres, das versenkt ist. Nach Osten (Süden) setzt das Orogen weit rascher in die Tiefe, nur Teile bleiben stehen.

Die Dimensionen sind wieder:

Balkan	—	Kreta	900 km
Krim	—	Cypern	1100 „
Wladikawkas	—	Syrien	800 „
Mangischlag	—	Bagdad	1000 „
Askabad	—	persischer Golf	1100 „
Merv	—	Osmau	1200 „
Amu daria	—	Indisches Meer	1300 „
Kaschgar	—	Salt Range	800 „

Digitized by Google

Chotan	—	Vorberge des Himalaya	800 km
Lobnor	—	Sikkim	1350 „
Tsaidam	—	Bhutan	1200 „
Jünnan	—	Assam Vorland	1000 „
Sarawak (Borneo)	—	Dschokscho Katu (Java) . . .	1200 „
Neu-Mecklenburg	—	Neu-Guinea	1100 „

Mit voller Gesetzmäßigkeit ist das ganze Orogen morphologisch aufgebaut.

Tektonik.

In der Morphologie spiegeln sich die großen Züge des Baues und seiner Genetik wieder. Die Tauriden, die Iraniden, die Himalayiden, die Sundabögen sind einheitlich bewegt, immer auf das Vorland vor ihnen. Große Vortiefen liegen vor den Ketten. Die Vortiefen des Euphrat und Tigris, des Ganges, die Sundagräben. In den Iraniden geht die Bewegung auf Arabien, im Himalaya auf Indien, im Sundabogen auf den Ozean, bezw. das australische Festland.

Im Kaukasus geht die Bewegung nach Norden, genau so wie in den turkestanischen Randketten. Im Mustagata sind nach NO. umgeschlagene Falten bekannt. Der Kuenlun ist noch wenig erforscht. Aber daß die Verhältnisse wirklich so sind, beweisen die gewaltigen Überschiebungen und Deckenbauten der Ketten von Jünnan. Hier haben französische Forscher komplizierte Deckenstrukturen aufgezeigt, die (Deprat und Mansuet) Bewegung nach Osten zeigen, wieder auf das Vorland hinaus.

Was den engeren Bau anbelangt, so fehlt es auch in den anderen Teilen nicht an großen Überschiebungen. Sie sind am frühesten im Himalaya, in den Klippen von Chitichun erkannt worden (durch E. Suess). Hier tritt offenbar das marine bathyale Mesozoikum der tibetanischen Serie, aufgebaut von einer kalkigen Entwicklung der Trias, über die neritische Schieferserie der Spitientwicklung mit Südbewegung hinweg. An der Basis der tibetanischen Serie liegen eruptive Grundschollen. Deckenbau ist für Sumatra von Tobler beschrieben worden. Hallstätter Trias tritt in Form von Klippen auf Timor über eine Schieferentwicklung hinweg (Welter). Deckenbau ist aus dem Kaukasus in letzter Zeit bekannt geworden.

Fazies.

Wie schon angedeutet, finden sich die verschiedenen Faziesreihen des Mesozoikum in den Stämmen. Freilich, große Teile sind so gut wie gänzlich unbekannt. Aber den Grundbauplan kennen wir.

Die Faziesverhältnisse des Mesozoikum des östlichen Orogen sind prinzipiell dieselben wie im westlichen Teile. Es muß eine ständige



Verbindung des Westens mit dem Osten existiert haben. Diese wird auch allgemein angenommen. Was die alpine Fazies der mediterranen Tethys im allgemeinen anbelangt, so hat man sie seit langer Zeit als die tropische Fazies des Mesozoikum angesprochen.

Dies ist in der Tat auch zutreffend und ergibt sich nicht nur aus biologischen Momenten, sondern auch aus faziellen und klimatischen Verhältnissen. Nirgends finden sich solche offenbar mit tropischem Meere im Zusammenhange stehende Kalkmächtigkeiten in der Trias, weder in den nördlicher gelegenen Gebieten, etwa in Japan, in Alaska, noch in südlicheren Zonen (Neuseeland, Anden). Der nubische Sandstein im Süden des mediterranen Orogen, die bunten Sandsteine der Angaraschichten im Norden, in Zentralasien, sind z. T. echte aride Sedimente, in Wüsten gebildet. Ein Wüstengürtel, offenbar subtropischen Charakters, begleitet die Ufer im Norden und Süden der Tethys. Dieser tropische Charakter des mediterranen Orogen wird hier besonders betont, weil er später noch eine große Rolle spielen wird (Pendulationstheorie von Simroth).

Im Detail finden wir überraschende Übereinstimmungen in den Gesteinen und Gesteinsserien. Der Typus des Werfener Schiefers ist von den Alpen bis ins Pamirische zu verfolgen, die Hallstätter Kalke gehen unverändert durch, ebenso der Dachsteinkalk, der Spitischiefer ist weit nach Osten wieder zu verfolgen. Wir werden auch hier neritische, bathyale und abyssale Zonen zu trennen haben, in den einzelnen Stufen, in den einzelnen Faziesreihen. Abyssale Sedimente sind in der Form der Radiolarite weithin bekannt. Ob ganze abyssale Entwicklungsreihen vorhanden sind, wird sich zeigen. Bathyale Reihen liegen sicher vor. Von den metamorphen Reihen scheint die Schistes lustrés-Fazies weite Verbreitung zu besitzen.

Freilich sind alle diese Verhältnisse noch recht wenig bekannt. Aber wo sie genauer von modern geschulten Geologen studiert werden, da findet sich ganz derselbe Bauplan, den wir in den Alpen kennen gelernt haben, wieder, wenn wir die Faziesverhältnisse in Betracht ziehen. Es ist eine überraschende Gleichheit vorhanden.

Vulkanismus.

Vulkanische Phänomene treten stark hervor. Wieder sind es pazifische Massen, die in Form von Decken, dann in Form junger Vulkankegel den Ketten aufsitzen. Dort, wo die Orogene versenkt werden, stellen sich atlantische Gesteine ein. Der gewaltige Vulkanstrang des Sundaarchipels ist pazifisch. Merkwürdig ist hier das Vorkommen von atlantischen Gesteinen in der unmittelbarsten Nähe der pazifischen. Auf der Insel Java bedienen sich atlantische und pazifische Magmen sogar derselben Esse. Der Vulkan Lurus liefert Hornblende-Andesite

Digitized by Google

aus einem leuzitischen Ringwall, auf Lumbava liegen dicht nebeneinander tätige Punkte, der eine liefert atlantische, der andere pazifische Gesteine (Pannekoek van Rheden).

Deformation.

Wir verfolgen das mediterrane Orogen von Armenien bis zum Abbruche in Hinterindien fast nicht deformiert, mit schönem typischem Verlaufe, abwechselnd mit dem verengten und erweiterten Typus. Das Hochland von Iran, das Hochland von Tibet sind prachtvolle Beispiele des erweiterten, hochgetragenen, von hohen Randketten umwallten Orogen. Der verengte Typus ist im Hochland von Pamir so klar ausgesprochen.

Die Vortiefen sind auf der Südseite allgemein erkannt, so die Vortiefen des Euphrat- und Tigrislandes, die des Ganges. Auf der Nordseite ist es nicht so deutlich. Hier drängen z. T. auch die Altaiden heran, verschmelzen scheinbar mit den jungen Kettengebirgen.

Hier wird das Vorland deformiert, in das orogene Kraftfeld einbezogen. So legen sich Ketten vor das Orogen, verlassen es aber wieder, so im Tianschan (Alaiketten). Weiter ostwärts schließen sich im Nanschan wieder fremde Teile an das Orogen. Aber sie werden nicht eingefügt. Die Vortiefen werden in diesem deformierten Vorland ebenfalls deformiert und sind daher nicht mehr zu erkennen.

Das Vorland sehen wir auch im Süden, in der Absenkung des persischen Golfes deformiert. Aber im großen und ganzen bleibt das Orogen erhalten.

Anders steht es weiter im Osten. Gegen den Sunda-Archipel sinkt das gesamte Orogen nieder und bricht in das Meer ab. Teile der Äste laufen weiter. Die Fortsetzungen der himalayanischen Ketten laufen in Inselketten und -bögen aus, Andamanen, Nikobaren, die hinterindische Halbinsel, Sumatra, Java, Timor. Der andere nördliche Ast wird weitgehend deformiert, versinkt ganz. Auch das Vorland im Süden und Norden geht auf die Tiefe des ozeanischen Bodens hinab. Trotz aller Zertrümmerung ist das Orogen deutlich im Archipel zu erkennen.

Die Deformationen sind jünger als die Bildung des Orogen. Dieses war wahrscheinlich ganz normal ausgebildet worden, das zeigen doch die Deckenbewegungen auf Sumatra, auf Timor. Hier überall mit der gesetzmäßigen Südbewegung auf das südliche Vorland. Diese Bewegungen werden unter den gegenwärtigen morphologischen Bedingungen im höchsten Grade unwahrscheinlich. Dies verlangt die Mechanik des ganzen Baues. Die junge Deformation des Orogen ist in hohem Grade schon aus mechanischen Gründen wahrscheinlich, so daß die ozeanischen Böden ringsherum als junge Einbrüche anzusprechen wären. Dies ist auch von anderen gefordert worden, von anderen Gesichtspunkten aus. So

Digitized by Google

verlangen die Zerrungstheorien von Frech, Voltz u. a. jüngere Senkungen der Ozeanböden, die die Entstehung der ostindischen Zerrungsbögen zur Folge haben sollten. (Zerrungstheorie von Richthofen.) Wir können diesen Anschauungen, deren Unhaltbarkeit von Lorenz u. a. schon dargetan wurde, nicht folgen, erwähnen sie in diesem Zusammenhange, um zu zeigen, daß neben geologischen Gründen auch aus rein mechanischen Ursachen die ozeanischen Senken um den Archipel als jung entstanden angesprochen worden sind.

Die Genetik des mediterranen Orogen.

Das mediterrane Orogen zwischen Eurasien und Indoafrika ist eine tektonische Einheit. Sehen wir von den Deformationen im Mittelmeere, im Archipel ab und betrachten wir die allgemeinen Züge.

Was wir im Westen den Stamm der Dinariden und Alpiden genannt haben, ist im Osten ebenfalls vorhanden. Es ist das südbewegte Randgebirge von Iran, des Himalaya und der Sundabogen (Sumatra-Timor). Auf der andern Seite ist die Fortsetzung der Alpiden die turkestanische Randkette, deren natürliche Verlängerung der Kuenlun ist, der in den Ketten von Jünnan ausläuft. Dann wird der Stamm versenkt. Die Fortsetzung liegt auf Borneo und von hier läuft sie über die japanischen Inseln nach Norden.

Suess hat schon den Zusammenhang der Dinariden mit den südlichen Randgebirgen Eurasiens erkannt. Er hat aber die Verhältnisse im Kuenlunsystem anders gedeutet. Auch diese Gebirge sollten südbewegt sein. Dem widerspricht auf das entschiedenste der geologische Befund im turkestanischen Bogen. Alle Bewegungen gehen nach Norden. Das hat Weber zeigen können, das hat Klebelsberg in der Kette Peters des Großen neuerdings klar gemacht. Die Nordbewegung der Alpiden in Europa ist keine Ausnahme, keine Rückfaltung der Randbogen, sondern eine ganz normale Erscheinung, ein Gesetz des Orogen.

Wir wissen heute ganz bestimmt, daß eine einheitliche Südbewegung vom Atlas durch alle Ketten bis nach Timor geht. Immer geht die Bewegung auf das Vorland; sekundär kann die Bewegung durch Bogenform modifiziert werden. So wird der Apennin nach Osten und Nordosten bewegt, genau so wie die afghanischen Ketten des Indus gegen Osten. Die Ketten Hinterindiens erscheinen gegen Westen bewegt (Sumatra), genau so wie die Dinariden gegen SW. abfließen. Dies alles sind sekundäre Bewegungsformen, die mit der Bogenform der Orogene, der girlandenartigen Anordnung der Randketten zusammenhängen. Dies sollte einmal festgehalten werden. Die afghanischen Ketten sind die Fortsetzung des Himalaya. Die scharfe Grenze, die Suess in der indischen Scharung ziehen wollte, haben indische Geologen immer und mit vollstem Rechte geleugnet, genau so wie die Amerikaner die

Digitized by Google

künstliche Scheidung der Rocky Mts. und der Alaskiden in der Scharung bei Cooks Einlaß geleugnet haben, die Suess angenommen hat.

Das passive Überfließen der Ketten über das Vorland erzeugt die Bogenformen, die Scharungen haben gar keine besondere Bedeutung als Gebirgstrennungen. Dies- und jenseits der Scharung ist das gleiche Gebirge. Nur die Möglichkeiten des Ausfließens der Randketten waren andere.

Wir verfolgen durch das alpine Orogen auf der Südseite eine Randkette desselben, vom Atlas über den Apennin, in die Dinariden, die Tauriden, bis in die Iraniden. Vor der ganzen Randkette ist immer die afrikanisch-arabische Tafel das Vorland. Wir können sagen, der dinarisch-iranische Saum ist immer auf Afrika bewegt. Wir nennen ihn deswegen den afrikanischen Stamm des mediterranen Orogen.

Von der Mündung des Indus an läuft eine einheitliche Randkette durch die Kette des Indus, durch den Himalaya, durch die hinterindische Halbinsel, durch Sumatra, Java, Timor nach Neuguinea. Eine Bewegung ist in dem Stamme sichtbar, die Bewegung auf das Vorland. Das Vorland bildet Indien und seine versenkten Teile im indischen Ozean. In Timor wird Australien zum Vorlande, auch in Neuguinea. Wir sagen hier gleich, daß weiter in der Fortsetzung dieses Stammes auf Neukaledonien wieder die Bewegungen gegen Westen gehen, auf das australische Vorland.

So gürtet sich eine Randkette des alpinen Orogen um Indo-Australien. Diesen Stamm nennen wir den indo-australischen Stamm des mediterranen Orogen.

Betrachten wir nun die Nordseite. Die alpine Nordbewegung der Alpiden in Europa ist anerkannt. Sie läuft über die betische Kordillere in die Pyrenäen (mit sekundärer Südbewegung), dann in den Alpen-Karpathen-Bogen (mit sekundärer Südbewegung in den transilvanischen Alpen), sie beherrscht den Balkan, den Kaukasus (mit sekundärer Südbewegung im Abbruch gegen Tiflis). In Asien kommt die Nordbewegung in den turkestanischen Randketten sicher zum Ausdruck, in den Ketten von Jünnan wird sekundärer Ostschub durch Bogenform. Aber immer geht die Bewegung auf das eurasiatische Vorland.

Wie eine einzige Kette, als geschlossenes Band, läßt sich der Stamm der Alpiden von der betischen Kordillere bis nach Jünnan verfolgen, immer auf das eurasiatische Vorland bewegt. Die Hauptbewegung ist Nord. Diesen Stamm nennen wir den eurasiatischen Stamm des mediterranen Orogen.

So zieht der eurasiatische Stamm einerseits, der afrikanische und indo-australische Stamm andererseits durch die ganze alte Welt, eine orogene Einheit bildend, als ein Band von Ketten zwischen Tafeln, durchschnittlich 1000 km breit, einmal weiter, dann wieder schmäler

Digitized by Google

werdend. An die Tafeln des Vorlandes treten unvermittelt die Randketten heran, häufig die höchsten Teile des Gebirges bildend. Im mediterranen Orogen steigt von Westen gegen Osten das ganze Orogen in die Höhe. Es kulminiert im Hochlande von Tibet, von da fällt es wieder in die Tiefe, weiter ostwärts wird es ozeanischer Boden.

Wie es in Tibet durchschnittlich 4 km höher liegt als das Vorland ringsherum, die Ketten selbst aber noch höher (bis fast 9000 m) emporsteigen, so sinkt das Orogen als ganzes in die mittlere ozeanische Tiefe, etwa auf 4000 m Tiefe ab, und wieder ragen aus diesen Tiefen wenigstens Teile der Randketten auf. So erleidet das ganze Orogen von Tibet bis in die Sundainseln eine longitudinale Absenkung von 8 km Höhe. Das sind nicht unbeträchtliche Zahlen. Sie geben jedenfalls Aufschluß über die Größe der Phänomene.

Um die Selbständigkeit des Schichttroges des Orogen gegenüber dem Bau des Orogen vor Augen zu halten, muß man sich in Erinnerung bringen, daß dieser Schichtwall quer durch die Kontinentalmassen zieht, gleichsam in einem Trog liegt, dessen Wände eben die unter das Orogen tauchenden Kontinental-(Vorlands-)Massen sind. Dieser Trog ist 1000 km breit, vielleicht 30—40 km tief. Alle Schichten liegen in diesem Trog in der Bogenrichtung gefaltet, überschoben, alle Leitlinien folgen der allgemeinen Orogenrichtung. Auf der Oberfläche des Orogen spiegeln sich die Bewegungen der Tiefe. Ketten- und Schollengebirge werden herausgeschnitten. Ebenen eingesenkt. Die Atmosphärilien schaffen die feinere Skulptur. In der Tiefe, im Trog, liegen die metamorphen Sedimente, wahrscheinlich auch große Intrusionen, deren Agilität lange andauern kann. Die Deckenbewegungen, die wir kennen, können eine Förderungslänge von 100 km haben. Die Verengung des Orogen muß eine enorme sein. Nehmen wir nur ein Mindestmaß von 1 : 2—3, so erhalten wir für die Geosynklinale die Breite von 2000—3000 km im Durchschnitt, d. i. die Breite des atlantischen Ozeans zwischen Europa und Nordamerika.

Die Größe des Orogen ist bisher, wie es scheint, nie recht gewürdigt worden — und damit auch nicht das Phänomen der Gebirgsbildung. Indem die Böden der ehemaligen Ozeane ausgepreßt und zu Kettengebirgen werden, verschweißen sie ursprünglich weit auseinanderliegende Kontinentalmassen. So sind Afrika und Europa, Asien und Indien miteinander verschmolzen und die Tethys war kein Mittelmeer, sondern ein Ozean, die mediterrane Geosynklinale kein flaches Meer, kein schmaler Strang, sondern ein Ozean mit allen Differenzierungen des Bodens, in Flach-, Hoch- und Tiefsee. Häufig finden wir in der Literatur ganz falsche Vorstellungen über die Bedeutung, das Wesen der Geosynklinale. So ist das Bild, das häufig von der alpinen Geosynklinale gezeichnet wird, unrichtig, nicht mit

Digitized by Google

den Tatsachen übereinstimmend. Die Würdigung der Erscheinungen in der Natur wird auch auf diesem Gebiete veraltete Vorstellungen beseitigen.

Was nun die Mechanik des Orogen anbelangt, so steht vor allem die starre Ruhe des Vorlandes dem Schichtenzusammenfließen des Orogen fremd gegenüber. Eine scharfe Grenze trennt sie. Es ist ein fundamentaler Unterschied, der nicht genug betont werden kann. Die starren Kontinentalschollen bilden die Widerlager, zwischen denen die Geosynklinale eingepreßt wird. Wir haben gesehen, daß die Bewegungen von Innen aus immer gegen den Rand gehen. Dem Boden der Geosynklinale entsteigen mit der Zeit immer schärfer akzentuierte Geantiklinalen, sie wachsen immer mehr aus, werden offenbar lang hinziehende Inselzüge, durch tiefe Geosynklinalen geschieden. Die Inselketten überstürzen sich im kontraktiven Felde, fließen in die Teilgeosynklinalen, der Vorgang wiederholt sich, Decke auf Decke entsteht im orogenen Trog. Der Faltenhaufe wird immer mächtiger, der Prozeß der Auspressung, durch die heftigen Dislokationen eingeleitet, immer paroxystischer. Für den Deckenhaufen gibt es nur eine Richtung des Ausweichens: nach oben und außen, d. i. auf das Vorland. So fließen die Decken über den Trogrand hinaus. Unter der Last des Faltenhaufens wird auch das Vorland in die Tiefe gedrückt, und so bildet sich der natürliche Steilrand, mit dem die Randketten gegen das Vorland sich abheben. Das ist auch der Weg, auf dem die Vortiefe entstehen muß. Die Mechanik des ganzen Vorganges verlangt es auch, daß die starren Widerlager ungefähr die gleiche Höhe halten. Diese wird offenbar durch allgemeine isostatische Gesetze bestimmt. Dies kommt durch die mittlere Höhe der Kontinentalmassen zustande. Diese sehen wir auch überall vor dem alpinen Orogen vorhanden. Nur so kann das Überquellen des Orogen über die kontinentalen Schollen erklärt werden. Würde eine Trogwand bedeutend tiefer liegen, so würde das Orogen dahin ausfließen müssen. Daß gewisse leichte Schwankungen der Widerlager in bezug auf Höhe entstanden sind, zeigt auch das heftigere Andrängen eines Stammes an den Trogrand. Wir könnten die Alpiden mit ihren älteren, interkretazischen, großen Deckenbewegungen in diesem Sinne deuten, gegenüber den schwächeren und jüngeren Bewegungen des Dinaridenstammes, wenigstens im Profile von der Adria zur Donau. Wo anders kann das Verhältnis wieder ein anderes sein. Bei den allgemeinen Stammbewegungen, also in den Alpen nach Norden, können sich bei der Größe, bei der Komplikation des Phänomens zweifellos auch sekundäre Stammbewegungen in den verschiedenen Phasen einstellen, so transversale Faltungen, Rückfaltungen u. dgl. Aber die Stammbewegung ist die primäre. Hier wird auch die äußere Form des Vorlandes mitbestimmend

Digitized by Google

sein auf die inneren Bewegungen der Stämme, so bei der Anlage der Bogenform, einer Scharung u. dgl.

Im engsten Zusammenhange mit diesen Phänomenen stehen die schon beschriebenen Phänomene der Metamorphose größerer Schichtkomplexe, der Entstehung bestimmter Gesteinsserien sedimentärer und vulkanischer Natur und offenbar, wie das Haug erkannt hat, weitgehender Transgressionen. Indem die Geosynklinale ausgepreßt wird, muß der Ozean gewissermaßen ablaufen. So ist sicher ein Teil der Transgressionen auf Rechnung der Gebirgsbildung im Orogen zu setzen. Die Regressionen hängen dann damit zusammen, daß größere Rindenteile mit der Deformierung des Orogen wieder einbrechen und damit auch kontinentale Felder. In diesen neu entstandenen Ozeangebieten fluten die Wässer in Regressionen wieder zurück.

Das nordamerikanische Orogen.

Wir betrachten nun kurz ein anderes typisches Beispiel eines Orogen. Das ist das nordamerikanische, die Rocky Mts. und die pazifischen Küstenketten umfassend.

Diese Zone der jungen mesozoisch-tertiären Kettengebirge läßt sich fast durch ganz Nordamerika verfolgen und zeigt deutlich eine Drei-Gliederung, die von den amerikanischen Geologen allgemein angewendet wird.

Im Osten liegen die Rocky Mts., im Westen zieht die pazifische Küstenkette dahin. Zwischen beiden liegt das Interiorplateau, von Suess auch Zwischengebirge genannt. Das sind die großen morphologischen und tektonischen Einheiten, die in der Genetik der Orogene tief begründet sind und in denen wir vollständig unsere Erfahrungen, die wir im alpinen Orogen gewonnen haben, bestätigt finden. Auch hier gilt das Orogengesetz.

Morphologie.

Von Alaska bis zum Yellowstone Park ist der dreigliedrige Bauplan zu verfolgen. Im Westen die Pazific Ranges, im Osten die Rocky Mts., dazwischen das Interiorplateau. Die Kette der Halbinsel von Alaska ist zweifellos die direkte Fortsetzung des Eliasgebirges. Die Scharung der beiden Ketten am Cook's Einlaß trennt nicht die „Alaskiden“ und die Pazific Ranges, wie Suess glaubte, sondern kettet nur Bogenstücke eines und desselben Gebirges in spitzem Winkel aneinander, ein Fall, den wir häufig sehen, der also keinen Anlaß geben kann zu einer Besonderheit. Die beiden Randketten laufen in SO.-Richtung annähernd parallel. Die Westkette läuft ungehindert weiter nach SO., geht in die Sierra Nevada über, und diese hat unserer Meinung nach ihre Fortsetzung in der kalifornischen Halbinsel. Nach Suess liegt im Gegensatze

Digitized by Google

zu der Anschauung amerikanischer Forscher die Fortsetzung der Sierra Nevada in der Sierra Madre. Diese ist unserer Meinung nach die Fortsetzung der echten Rocky Mts., die über das Wahsatchgebirge nach Süden ziehen, am Knie des Kolorado durch Arizona in die Sierra Madre zu verfolgen sind. In diesem Falle ist die Fortsetzung des Interiorplateaus nach Süden im Westen der Sierra Madre zu suchen, fällt also im großen und ganzen mit dem Golf von Kalifornien zusammen. Von den eigentlichen Rocky Mts. scheidet sich die „Praekordillere“, die sich von den Rocky Mts. im Yellowstonepark loslöst, durch die Ketten von Santa Fé auf der Ostseite des Rio Grande nach Mexiko zieht und hier mit der Sierra oriental verschmilzt. Zwischen den eigentlichen Rocky Mts. und der Praekordillere, wie wir hier sagen, liegt als weitere tektonisch-morphologische Einheit das alte Koloradoplateau. Seine Fortsetzung nach Süden ist bis zu einem gewissen Grade das mexikanische Hochland zwischen der Sierra Madre und der Sierra Oriental.

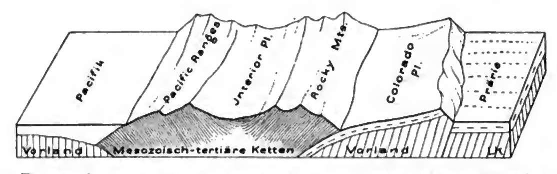


Fig. 28. Schema des Baues des nordamerikanischen Orogen und seines Vorlandes im Schnitte Sierra Nevada — Koloradoplateau.

So scheiden sich die Pacific-Ranges, das Interiorplateau, die Rocky Mts.-Sierra Madrekette, das Koloradoplateau (Hochland von Mexiko) und der Praekordilleren-Sierra Orientalzug.

Nicht alles davon gehört zum Orogen. Es scheiden davon aus: Das Koloradoplateau und die Praekordillere. Das erstere ist eine alte Tafel, neu belebt, also jung gehoben. Die Praekordillere ist der aufgeschürfte Rand der Koloradotafel gegen die Prärie. Dies sind alte Einheiten, die in neuem Zyklus im Gefolge der orogenen Bewegung gestört worden und bis zu einem gewissen Grade in den Rahmen des Orogen geraten sind, mehr morphologisch als tektonisch; denn das Orogen selbst ist im allgemeinen durch die geosynklinale Fazies des Mesozoikum, auch des Paläozoikum, durch die Anordnung der Gebirge in Ketten, durch die weitgehende horizontale Dislokation gekennzeichnet. Wieder treten die Randketten typisch in Erscheinung, wieder stellen sich die höchsten Erhebungen an den Rand gegen das Vorland. Wieder verengen sich diese Ketten zum verengten Orogen, um wieder ausein-

Digitized by Google

ander zu laufen und in Oregon und Nevada das Zwischengebirge, das große Plateau zu bilden. Der Bau ist recht typisch.

Die Breitendimensionen sind wieder:

Seward-Halbinsel	— Kenai	900 km
Charlotten-Inseln	— Rocky Mts.	900 „
Pacific Ranges	— Yellowstone Park	1200 „
Meer	— Wahsatchgebirge	1300 „
Meer	— Praekordillere (dagegen)	**1600** „
Meer	— Sierra Madre	1000 „

Tektonik.

Die Tektonik der Westkette ist in vieler Hinsicht gut bekannt. Allgemein gilt, daß die Bewegung gegen Westen geht, vom Eliasgebirge bis tief nach Süden. Im Klamathgebirge, in der Sierra Nevada sind große Überschiebungen auf den Pazifik bekannt. Suess hat hier schon von einer einheitlichen Bewegungsrichtung gesprochen. Suess hat hier aber eine künstliche Grenze gezogen. Nach ihm beginnen hier die Anden. Dieser Auffassung kann man nicht folgen, genau so wenig wie der künstlichen Trennung der Pacific Ranges im Norden. Es ist ein Strang von Gebirgen, der sich von der Alaskahalbinsel über das Eliasgebirge bis San Franzisko verfolgen läßt und dessen Fortsetzung die kalifornische Halbinsel ist. Im ganzen Zug gibt es eine Hauptbewegungsrichtung: die Bewegung auf den Pazifik, die Bewegung nach Westen. Der Pazifik ist das Vorland für die Küstenketten.

Im Zuge der Rocky Mts. sind die Bewegungen gegen Osten gerichtet. Auch das ist auf weite Strecken erkannt. Auch Suess verzeichnet die großen Überschiebungen am Außenrande der Rocky Mts. im nördlicheren Teile.

In Montana sind wieder große Bewegungen nach Osten beschrieben worden, so aus der Umgebung von St. Helena und Butte. Bedeutende Überschiebungsphänomene werden aus der Wahsatchkette verzeichnet. In der Fortsetzung nach Süden finden sich in Nord-Mexiko heftige Bewegungen am Außenrande. Diese Beispiele dürften genügen, um auch in der Kette der Rocky Mts., wie sie hier gefaßt wird, die Einheitlichkeit der Bewegungen, der Bewegung nach Osten, auf das Vorland aufzuzeigen.

Weit anders ist der Bau der Interior Region. Sie ist allgemein als Schollengebiet aufgefaßt worden. Wo Ketten entstanden sind, haben sie den Charakter junger Schollengebirge.

Tektonisch ist das ganze Orogen besonders interessant durch den enormen Vulkanismus der Zone. Von Alaska bis tief herunter nach San Franzisko, in einheitlichem Zuge, läßt sich die große Narbe

Digitized by Google

der Grano-Diorite verfolgen, mehr in der Westkette liegend. Tiefer im Süden füllen das Interiorplateau in Oregon, Nevada die großen jungen Basaltergüsse. Die vulkanische Zone ist die Heimstätte des pazifischen Magmatypus. Der Vulkanismus hängt mit der Gebirgsbildung zusammen, beginnt in gewissem Sinne schon mit den grünen Gesteinen der San Franciscan Serie im Oberjura und geht in mehr oder weniger kontinuierlichem Zuge wie die Gebirgsbildung bis zur Gegenwart. Einige Vulkane sind noch tätig. Im Süden z. B. der Mt. Shasta, im Norden die Vulkangruppe Wrangel. Die Fortsetzung dieser Zone liegt in den tätigen Vulkanen der Aleuten. . Die Außenzone der Küstenkette ist miteingebrochen. Das Vorland liegt in der Tiefe des Ozeans. Mit ihm auch die Vortiefe.

Anläßlich des int. geol. Kongr. in Toronto ist eine Zusammenstellung des Baues dieses ganzen Gebietes von amerikanischen Geologen gegeben worden. Auch Termier hat über die Tektonik längs der Eisenbahnlinie nach San Francisco berichtet und eine Reihe von Zonen unterscheiden können.

Es genügt hier, das Orogengesetz in Morphologie, in seiner Großtektonik nachgewiesen zu haben. Wir wollen nun kurz einiges über die

Fazies

erwähnen. Die Stämme zeigen wie das Zwischengebirge das alpine Mesozoikum. Auch Faziesreihen sind bekannt. Die San Franciscan-Serie ist durch die ganze Pacific Range zu verfolgen. Auch metamorphes Mesozoikum ist, z. B. in Kalifornien, bekannt. Im Zwischengebirge findet sich das geosynklinale Mesozoikum und Paläozoikum. In der Ostkette zeigt sich das Vorland weit in das Orogen einbezogen. Weiter im Süden finden sich auch in Nordmexiko echte alpine Gesteine, z. B. Hallstätter Trias. Im Süden treffen wir in Mexiko auch in der Oberkreide die Gosaufazies.

Die ganze Zone scheint aber doch nicht, besonders in den höheren Teilen, diesen Reichtum an Kalken zu zeigen, die große Mächtigkeit wie im mediterranen Orogen zu erreichen. Vielleicht spielen da noch klimatische Verhältnisse mit. Das nordamerikanische Orogen stammt wenigstens in seiner mittleren Lage aus einem mittleren Breitengrade. Im Norden ist das Mesozoikum weithin in der arktischen Fazies bekannt, die reich ist an Eruptiven des Mesozoikum.

Genetik.

Das nordamerikanische mesozoisch-tertiäre Orogen ist nach dem Orogengesetz gebaut. Es ist eine zwischen zwei starren Massen ausgepreßte Geosynklinale, im Orogen die typische Breite von 1000 km aufzeigend, gegen die Vorländer des Westens und Ostens durch einseitig

Digitized by Google

bewegte Randketten scharf abgegrenzt. Das Innere des Orogen nimmt eine weite Einsenkung, das Interiorplateau, ein. Die Pacific Range ist auf den Nordpazifik bewegt und wird darum der nordpazifische Stamm genannt. Die Rocky Mts. mit ihrer Bewegung auf den nordamerikanischen Schild (Vorland) nennen wir den nordamerikanischen Stamm. Die Praekordillere ist aufgewölbtes Vorland, gleichsam eine Vorkette des nordamerikanischen Stammes.

Das Orogen fließt wieder in seinen Stämmen regelmäßig auf die Vorländer im Westen und Osten nieder. Diese Verhältnisse können nicht unter den gegenwärtigen Bedingungen entstanden sein. Es müßte der orogene Trog die Schichten in den tiefliegenden Pazifik entleert haben und das Orogen wäre ganz anders, einseitig, gebaut worden. Dies ist nicht der Fall. Es muß zur Erzeugung des normalen Orogenbaues die Niveaugleichheit der erzeugenden Schollen vorhanden gewesen sein, die heute nicht besteht. Das Vorland der pazifischen Kette hat aller Wahrscheinlichkeit nach nach der Entstehung des normalen Orogenbaues seine heutige Gestalt erhalten. Die Deformierung ist jung. So kommen wir zum Schlusse, daß das Vorland der pazifischen Kette jung eingebrochen ist. Der Ozeanboden in der Tiefe ist das starre Widerlager für die Entstehung des nordpazifischen Stammes gewesen. Es muß ein erstarrtes Land gewesen sein, wahrscheinlich ein kontinentaler Block, eine Annahme, die auch E. Haug gemacht hat.

Für das nordamerikanische Orogen lassen sich dieselben Gesetze in bezug auf seine weitere Genetik nachweisen, wie für das mediterrane.

Das südamerikanische Orogen.

Eine einheitliche junge Gebirgszone verfolgen wir von Venezuela längs der Westküste bis nach Feuerland. Eine mesozoisch-tertiäre Kette, die nach allen Erfahrungen einheitlich nach Osten bewegt ist. Auch Deckenbau ist bekannt, z. B. durch Schiller vom Akonkagua. Flyschartige Sedimente mit Überschiebungen finden sich tief im Süden. Zweifellos hat man es mit einem mesozoisch-tertiären Kettengebirge zu tun, dessen Vorland im Osten Brasilien, Argentinien und Patagonien ist, dessen Breite durchschnittlich die halbe Orogenbreite ausmacht. Das Gebirge selbst wird in eine Ost- und eine Westkordillere geteilt, dazwischen liegt z. B. das Hochland von Atakama. Intrusionen und Vulkane ganz von nordamerikanischem Typus begleiten die ganze Kette. Aber der Bau ist absolut nicht der des nordamerikanischen Orogen. Es macht vielmehr den Eindruck, wie wenn die Anden nur der östliche Stamm eines Orogen wären, während der westliche versunken ist, gerade so, wie wenn im nordamerikanischen Orogen die Westkette und das Interiorplateau im Nordpazifik versenkt wären und nur die Ost-

Digitized by Google

kordillere übrig bliebe. Diesen Eindruck macht der Stamm der Anden, der hier also als der östliche Stamm eines Orogen aufgefaßt wird, genau so wie etwa die Rocky Mts. im Norden, und den wir wegen seiner Bewegung auf das südamerikanische Vorland als den südamerikanischen Stamm bezeichnen. Das Orogen als ganzes, dem dieser Stamm als Oststamm angehört, nennen wir das südamerikanische Orogen im Gegensatz zum nordamerikanischen. Der hypothetische Weststamm des südamerikanischen Orogen dürfte etwa durch die Inselgruppe San Juan Fernandez gehen. Die Tiefen von Atakama sind keine Vortiefen. Wir betrachten sie entstanden im Raume des Zwischengebirges, zwischen den beiden Stämmen gelegen, und bezeichnen sie als Zwischentiefen. Solche Zwischentiefen entstehen unserer Meinung nach, wenn das Zwischengebirge versinkt, die Stämme näher aneinander rücken. Als Vortiefe kann die Tiefe von Atakama keinesfalls gedeutet werden. Das hat auch Suess bereits empfunden.

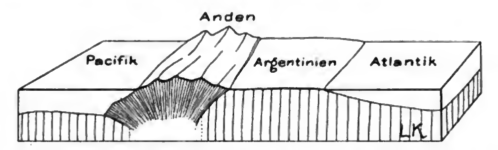


Fig. 29. Blockdiagramm des Baues von Südamerika und des umgebenden Ozeangebietes im Profil Anden — Argentinien.

Auch das andine System kann nicht unter den heutigen Umständen entstanden sein. Die Deformierung des Orogen, die Versenkung des einen Stammes, die Versenkung des Vorlandes muß jüngeren Datums sein als die Entstehung der Anden. Wir kommen wieder, wie im Norden, zur Annahme eines jungen Alters des pazifischen Ozeans, und zwar aus rein tektonischen Gründen.

Die Deformationen der jungen Orogene.

Den Ausgangspunkt bildet das normale Orogen. Dieses zeigt folgenden schematischen Bau. (Fig. 30.)

Das Orogen erhebt sich mit seinen Randketten scharf über das Vorland. Zwischen Vorland und den Randketten liegt die Vortiefe. Zwischen den Randketten liegt das Zwischengebirge. Das Vorland taucht immer unter das Orogen hinab. Die Randketten sind immer auf das Vorland zu bewegt. Die Vorländer liegen ungefähr in derselben Höhe. Dieses normale Orogen kann nun folgende Deformation erleiden.

Digitized by Google

1. Das Orogen wird samt dem Vorlande so tief versenkt, daß nur mehr die Randketten mit ihren Gipfeln über der Meeresoberfläche sichtbar sind. Dann ergibt sich folgendes Schema. Die Randketten des Orogen erscheinen als mehr oder weniger parallele Inselketten. Diese

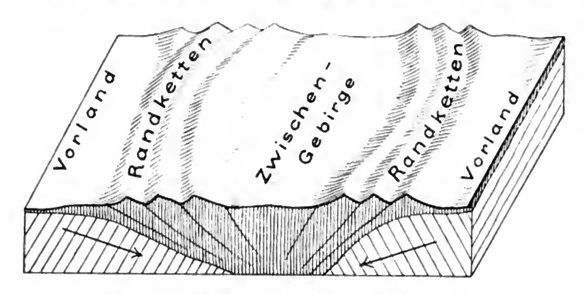


Fig. 30. Blockdiagramm eines normalen (erweiterten) Orogen.

Inselzüge zeigen den normalen Orogenabstand voneinander. Das Zwischengebirge wird eine Mulde, eine Art Geosynklinale, oder eine Zwischentiefe zwischen den Inselreihen, die gegen außen von den normalen Vortiefen gegen das Vorland abgegrenzt werden. Dieser Typus

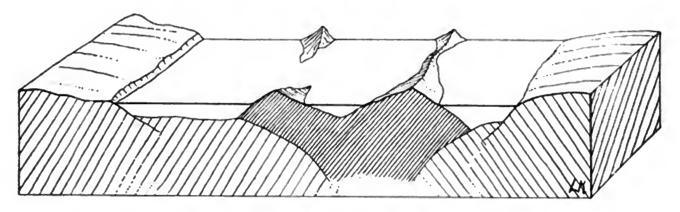


Fig. 31. Blockdiagramm eines normalen versenkten Orogen, dessen Vorland z. T. stehen geblieben ist. Das Orogen selbst ist zu einem „Inselorogen" geworden.

kann vielleicht als „Inselorogen" bezeichnet werden. Er findet sich z. B. in den orogenen Inselreihen von Neu-Kaledonien und den Neu-Hebriden und in den anderen hier gelegenen Inselreihen. (Fig. 31.)

2. Wird das Orogen ganz versenkt, so ergibt sich folgendes Schema. (Fig. 32.)

Digitized by Google

Die Randketten werden sich in der orogenen Breite über dem Meeresgrunde bemerkbar machen in Form von Geoantiklinalen, Rücken oder Untiefen, begrenzt von Geosynklinalen, vorausgesetzt, daß nicht Sedimentation das Bild verwischt, daß Messungen in der Tiefe überhaupt so genau sind, daß sie die wahren Verhältnisse wiedergeben.

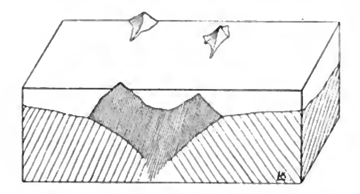


Fig. 32. Blockdiagramm eines samt dem Vorlande versenkten Orogen.

Jedenfalls kann das Orogen als langer schmaler Rücken auf dem Boden des Ozean erkannt werden. Mitbestimmend ist die normale orogene Breite. (Typus der Ozeaniden.)

3. Ein weiterer Fall ist eine unsymmetrische Versenkung des Orogen. Dann ergibt sich folgendes Schema. (Fig. 33.)

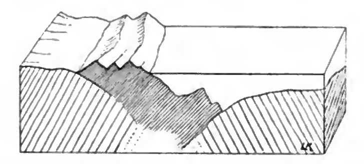


Fig. 33. Blockdiagramm eines mit einem Vorlande einseitig versenkten Orogen.

Die Randkette erhebt sich über das Vorland auf der einen Seite, sinkt aber auf der anderen in die Zwischentiefe hinab. Dann stellt sich in der zweiten Randkette eine Art Rückfallkuppe ein, von der es erst zum Ozeanboden hinuntergeht, bei Ausbildung einer Vortiefe. Auch hier werden natürlich die wahren Verhältnisse mannigfaltig modifiziert sein und je nach dem Alter der Versenkung, der Erhaltung der orogenen Formen, nach dem Grade der Kenntnis der submarinen Bodenverhältnisse mehr oder weniger gut noch zu erkennen sein. Das andine Orogen ist bis zu einem gewissen Grade nach diesem Typus gebaut. (Fig. 29.)

Digitized by Google

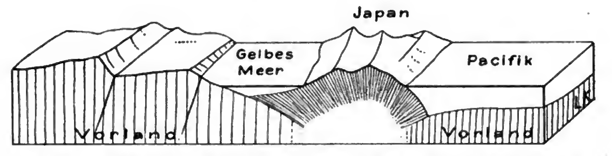


Fig. 34. Blockdiagramm des japanischen Orogen. Das asiatische Vorland bricht in Staffeln ab. Das Orogen selbst ist als Inselzug vorhanden. Das gelbe Meer ist eine flache Vortiefe. Der Pazifik-Boden, das östliche Vorland bildend, ist tief versenkt und scheidet sich durch eine Vortiefe scharf vom Inselzug des Orogen.

Die Deformationen der älteren Orogene.

Denken wir uns ein normal gebautes paläozoisches Orogen tief abgetragen und von der postvariszischen Sedimenthülle bedeckt, so erhalten wir folgendes schematisches Bild. (Fig. 35.)



Fig. 35. Schema des paläozoischen Orogen, das tief abgetragen von der postpaläozoischen (postvariszischen) Sedimenttafel horizontal (transgressiv) überlagert wird. In der Tiefe des Orogen ist der alte zweiseitige orogene Bau vorhanden. Das Orogen erscheint morphologisch als Ebene (Tafel).

Wenn die ganze jüngere Sedimentdecke wieder entfernt wird, erscheint das alte Orogen wieder, charakterisiert durch eine ausgedehnte Verebnung und durch einen zweiseitigen Bau.

Diesen Fall finden wir wahrscheinlich nirgends mehr auf der Erde in seiner vollen Reinheit erhalten, immer ist das alte Orogen deformiert. Aber das orogene Grundgesetz des Baues ist zu erkennen.

Kaledonischer Typus.

So entsteht der kaledonische Typus, der Bauplan, wie er in Skandinavien, in Schottland zu erkennen ist. Die beiden Gebirgszonen stammen aus einer einheitlichen orogenetischen Zone des Paläozoikum. Sie sind Bruchstücke des alten Gebirges und kommen auf den britischen Inseln und in Skandinavien zutage. Die Verbindungsglieder zwischen beiden sind versenkt. Die Kaledoniden Schottlands zeigen allgemein Westbewegung auf die Hebriden, die von E. Suess als Vorland angesprochen worden sind. Die Kaledoniden Skandinaviens sind nach Osten

Digitized by Google

bewegt. Ihr Vorland ist der baltische Schild (russische Tafel), aus dem das östliche Schweden aufgebaut ist. In Skandinavien ist der ganze westliche Stamm versenkt, in Schottland wieder der östliche. Aber durch die Verbindung beider zu einem Orogen erhalten wir den natürlichen gesetzmäßigen Bau des Orogen. (Fig. 36.)

In diesem Falle ist das Orogen noch ziemlich weitgehend erhalten. In anderen Fällen kommt von dem Orogen nur ein Teil unter der postvariszischen Bedeckung zutage. Dann können wir folgendes Schema festhalten.



Fig. 36. Schema des Baues des kaledonischen Orogen. Das östliche Vorland samt der Randkette ist vorhanden. Der westliche Flügel des Orogen ist zum großen Teil versenkt. Das Zwischengebirge (Narbe) liegt in der Tiefe (Zwischentiefe).

Unter der postvariszischen Sedimentdecke bleibt der eine Stamm völlig vergraben, der andere aber erscheint fast vollständig mit dem Überschiebungsrande auf das Vorland. Das halbe Orogen ist wiederbelebt worden, ein Typus, der bis zu einem gewissen Grade durch die Appalachen repräsentiert wird. In dem Falle erscheint ein einseitig bewegtes, altes Ketten-(Decken-)Gebirge. Auch der Kettencharakter kommt bis zu einem gewissen Grade zum Ausdruck, wenn die Neubelebung auf weite Strecken hin erfolgt.

Ein weiterer Fall ist der: das Orogen wird etwa im mittleren Teile belebt. Die zentrale Region des Orogen wird sichtbar, wieder werden wir einen anderen Bau hier antreffen. Es ist der Bau der Narbenzone oder der Zwischengebirgsregion. Vielleicht ist der Bauplan im Ural gegeben. Dort erscheinen mächtige lang hinziehende eruptive Massen im Inneren des Gebirges. Das Streichen ist streng linear, N.—S. Die Schichten stehen mehr steil. Gegen Westen gewinnt allem Anschein nach die Bewegung gegen die russische Tafel die Oberhand. Hier scheint in der Kalkzone des westlichen Teiles der Weststamm des Orogen vorhanden zu sein, der auf die russische Tafel überschoben ist, also das Gegenstück der Kaledoniden auf Skandinavien. Auf der sibirischen Seite des Ural wird Bewegung gegen Osten beschrieben. Vielleicht sind das Anzeichen des östlichen Stammes des Orogen. Dieses aber liegt unter der jungen Bedeckung der westsibirischen Ebene begraben, und damit auch die Grenze gegen das Vorland. Hie und da kommen weiter ostwärts in der Ebene, in den Tälern der Flüsse uralische Teile zum Vorschein, als deutlicher Beweis, daß derselbe in der Tat unter der jungen Bedeckung vorhanden ist. (Fig. 37.)

Digitized by Google

Auch im Ural kommt der alte Kettencharakter noch gut zum Vorschein.

Typische Schollen und Horstgebirge entstehen, wenn aus dem Orogen nur kleinere rundliche Schollen herausgehoben werden, wie etwa in den Vogesen, oder im Schwarzwald.

In diesem Falle kann das morphologische Streichen des Gebirges und das tektonische verschieden sein.

Die neubelebten paläozoischen Orogenschollen sind in den meisten Fällen durch alte batholithische saure Intrusionen (Granite) gekennzeichnet. Diese bilden gerne die Kerne der hochgehobenen Schollen.

Vulkanische Erscheinungen ähnlicher Natur wie im Mesoiden-Orogen finden sich in den paläozoischen Orogenen. Atlantische und pazifische Gesteine finden sich. Die ersteren in der evolutionären Phase, die letzteren in der Phase der Revolution.

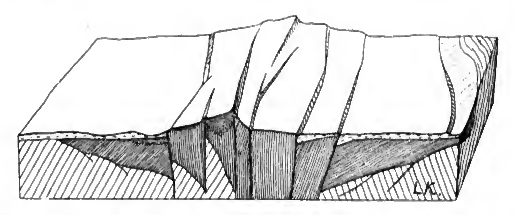


Fig. 37. Blockdiagramm eines neu belebten paläozoischen Orogen (Neo-Paläiden). Das Vorland und die Randketten des normalen Orogen liegen unter der postpaläozoischen Tafel. Die inneren Teile des Orogen sind belebt. Das Orogen wird zum Schollengebirge mit weithin ziehender Peneplain.

Die bekannten jungen orogenetischen Zonen der Erde.

Das sind die Regionen der jungen Kettengebirge. Sie fallen mit den mesozoischen Geosynklinalen zusammen. Diese Gebiete sind:

Die geosynklinalen Gebiete Nordamerikas, Südamerikas, der Tethys, die neuseeländischen, die japanischen, die arktischen. Sie schließen also die bekannten jungen Kettengebirgsregionen in sich ein. Schon aus dieser Übersicht ersehen wir, daß die Orogene weitgehend deformiert sind, daß große Teile versenkt worden sind, so an der Ostseite von Asien, daß in manchen Fällen auch bei tiefgehenden Versenkungen und Zertrümmerungen des Orogen trotzdem der orogene Charakter zu erkennen ist. In anderen Fällen wird auch dieser durch die Versenkung verwischt. Solche versenkte Orogene haben wir zwischen Feuerland und dem Grahamland anzunehmen, solche versenkte Orogene haben wir

Digitized by Google

an den Riasküsten der Orogene zu supponieren. So muß der Atlas nach Westen hin eine Fortsetzung haben, ebenso auch die betische Kordillere. Für den Atlas ist sie in der Tat auch auf den kanarischen Inseln gefunden worden. Wohin zieht nun diese Gebirgskette? Ähnlich fragen wir uns bei Neuseeland. Ist hier wirklich die Geosynklinale, bezw. das Orogen zu Ende?

In gewissen Fällen zieht man ohne weiteres Verbindungen weit über die Ozeane hinweg. Die mediterrane Geosynklinale muß zweifellos quer über den atlantischen Ozean mit der mittelamerikanischen verbunden gewesen sein. Das fordern schon paläontologische Gründe. Ist diese Geosynklinale die Fortsetzung der Geosynklinale, aus der der Atlas und die betische Kordillere, die kanarischen Inseln hervorgegangen sind? Hängt diese Zone tektonisch mit dem westindischen Archipel in gewissem Sinne zusammen? Auch an diese tektonischen Zusammenhänge ist schon gedacht worden (Haug, Termier).

Wir sehen aber aus allem: Was wir an der Erdoberfläche an Orogenen sehen, ist in den wenigsten Fällen vollständig rein erhalten geblieben. Zum guten Teil sind die Orogene einseitig, zweiseitig deformiert worden, haben allein oder samt dem Vorlande ganz weitgehende Umgestaltung regionaler Natur erfahren, halbe und totale Versenkungen, soweit, daß ihr Charakter aus der Tiefe des Meeres herauf nicht mehr recht morphologisch-tektonisch erfaßt werden kann. Aber wir haben die sichere Gewißheit, daß große Teile der jungen Orogene ganz versenkt worden sind. Wir kennen nur einen ganz geringen Bruchteil der mesozoisch-tertiären orogenetischen Zonen. Wir haben eine Reihe von Orogenen in der Fortsetzung der bekannten Orogene zu supponieren. Allgemeine geologische und tektonische Momente fordern zu diesen Annahmen heraus.

Dies erscheint ebenfalls als ein wichtiges Ergebnis, wenngleich es auch vorläufig nur negativ ist.

In den bekannten Orogenen haben wir innerhalb derselben Stämme kennen gelernt, die die Umgrenzung gegen die kontinentalen Massen bilden. So haben wir im mediterranen Orogen einen langen eurasiatischen Stamm unterscheiden können, der Eurasien auf der Südseite umfaßt, eine fast ununterbrochene Kette bildend, die sich von Gibraltar an über die Alpen, den Kaukasus, den Kuenlun bis nach Hinterindien verfolgen läßt. Dieser Stamm ist aber, wie wir sehen werden, nur ein Teil der orogenen Umrahmung Eurasiens. Dieser eurasiatische Stamm ist auch im Osten Asiens in den Inselketten, weiter nach Norden, im Werchojanschen Bogen zu verfolgen und muß theoretisch über die Arktis gehen, der mesozoischen Geosynklinale folgend. Diese Verhältnisse werden hier nur angedeutet. Sie sollen später genauer erklärt werden.

Digitized by Google

Wir konnten ferner einen afrikanischen Stamm im mediterranen Orogen festhalten, der sich vom Atlas über den Apennin, die Dinariden, über die Tauriden bis in die iranischen Ketten verfolgen läßt, in einheitlicher Bewegung auf die afrikanisch-arabische Tafel übertretend.

Ein weiterer Stamm war der indo-australische Stamm, der vom Himalaya über die Sundainseln bis nach Neuseeland zieht. Vom Indus bis nach Neukaledonien läßt sich eine allgemeine Bewegungstendenz auf das indisch-australische Vorland erkennen.

Südamerika wird im Westen von einem südamerikanischen Stamme von Venezuela bis nach Cap Horn in einheitlichem Zuge umflossen.

Im nordamerikanischen jungen Orogen konnten wir einen pazifischen Stamm festhalten, auf den Pazifik bewegt, und einen nordamerikanischen Stamm auf die Kontinentalseite übertretend. Im Arktik tritt auf Grantland die Vereint-Staatenkette auf, ein Teil des nordamerikanischen Stammes, der hier mit Südbewegung erscheint. Sie ist ein wichtiger Beweis für die Vorstellung der vollständigen Umrahmung der einzelnen erstarrten Massen (Kratogene) durch die jungen Orogene.

Diese Verhältnisse werden im Kapitel „die geotektonischen Einheiten“ näher auseinandergesetzt werden.

Die bekannten alten Orogene.

Die orogenetischen Zonen des Paläozoikum fallen ebenfalls mit den Geosynklinalgebieten des Paläozoikum zusammen. Haug hat eine Karte der paläozoischen Geosynklinalen gegeben. Wir stimmen mit dieser Karte im großen überein, fügen aber zwei weitere Geosynklinalen hinzu, die mongolische und die kaledonische, aus Gründen, die wir später noch näher auseinandersetzen werden. Die alten paläozoischen Geosynklinalgebiete decken sich in vieler Hinsicht mit den jungen. Die amerikanischen Geosynklinalen des Paläozoikum und des Mesozoikum im andinen und im Gebiete der Rocky Mts. fallen fast ganz zusammen. In Europa zeigt sich ähnliches. Die alte paläozoische Geosynklinale deckt sich in vieler Hinsicht mit der mesozoischen. Ähnlich ist es auch in Süd- und Ostasien und in der neuseeländischen Region. Anders aber verhält es sich mit der uralischen, mit der mongolischen (altaischen) Geosynklinale des Paläozoikum. Ihnen folgt im Mesozoikum keine nach. Haug hat zwar auch für den Ural eine mesozoische Geosynklinale gezeichnet. Dies entspricht in keiner Weise den Tatsachen. Eines zeigt sich. Dieser Boden ist noch labil und öffnet sich ein und das andere Mal für nordische Transgressionen. Es entstehen flache Ingressionsmeere im Jura, in der Kreide, im Diluvium. Aber es sind

Digitized by Google

keine Geosynklinalen. Noch weniger sind hier echte junge orogenetische Zonen vorhanden.

Dieses uralische Orogen, diese paläozoische Geosynklinale ist erstarrt, in gleichem Grade die mongolische. Hier sind im Gebiet von Zentralasien fast überhaupt keine mesozoischen marinen Ingressionen bekannt geworden. Überall finden sich die echt kontinentalen Angara-Schichten. Als Landbildungen, teils im ariden, teils im humiden Klima, sind sie der beste Beweis für die Erstarrung, für die Verfestigung der orogenetischen Zone mit dem Kontinentalblock. Hier ist also ganz sicher keine junge Geosynklinale gefolgt. Erst in junger Zeit ist dieses Gebiet wieder belebt worden, und eine Reihe von Schollengebirgen sind entstanden.

Die paläozoischen Orogene lassen wohl in einzelnen Fällen, so in den Kaledoniden Schottlands nnd Englands, noch die Stämme erkennen. Im allgemeinen aber sind die Deformationen der Paläoiden derartige, daß weithin zu verfolgende Stämme nicht zutage treten. Sie waren zweifellos vorhanden. Wir sehen sie noch in den einseitigen Bewegungen der Appalachen auf das Vorland im Westen, oder in Schottland, in Skandinavien.

Das Studium der Paläoiden wird zweifellos auch hier mit der Zeit Aufklärung bringen und damit auch die Stammtektonik der Paläoiden aufhellen.

Von den Orogenen des Proterozoikum kennen wir nur ganz geringe Teile. Es sind dies die proterozoischen Ablagerungen des kanadischen Seengebietes, dann in Finnland. In beiden Fällen liegen sie als ziemlich scharf abgegrenzte Zonen inmitten archäischer Gebiete. Komplizierte Strukturen sind daraus bekannt geworden.

Mit dem fortschreitenden Studium paläozoischer und „archäischer“ Gebiete werden sich auch hier mit der Zeit wesentliche Fortschritte in der Erkenntnis dieser Zonen der Erde ergeben.

Erstarrung und Wiederkehr der Geosynklinalgebiete.

So unterscheiden wir zwei Typen. In dem einen Falle erstarrt die Geosynklinale, das Orogen bleibt landfest. Im zweiten Falle wird es neuerdings versenkt, wird abermals zur Geosynklinale, zum Orogen. Dieses kann entweder wieder erstarren, oder abermals versenkt werden.

In den Alpen ist auf das paläozoische Orogen das mesozoisch-tertiäre gefolgt. Erst dieses junge Orogen ist landfest geworden. Im Gebiete des Mittelmeeres ist das auf das paläozoische Orogen gefolgte junge Orogen aber neuerdings weitgehend versenkt worden, ähnlich auch im Sundaarchipel.

Digitized by Google

Die geosynklinalen Gebiete der Erde zeigen auf weite Gebiete hin ein konservatives Verhalten, ein Verharren am Platze, eine weitgehende Permanenz. Wenn sie gerade nicht genau dieselbe Zone festhalten, so pendeln sie doch um diese Zone herum, sie wandern langsam und allmählich; die Orogenbildung, oder wie man auch sagt, die Gebirgsbildung zeigt ein zonares Wandern. Durch diese zonare Verschiebung der Gebirgsbildung entstehen gleichsam Verschneidungen, die Orogene legen sich quer übereinander, d. h. die Axen der jungen Orogene schneiden sich mit den Axen der alten in verschiedenen Winkeln. In allen diesen Fällen legt sich das jetzige Orogen mit seinen Überschiebungen über das alte, wie wir das z. B. im Hinübertreten des karpathischen Bogens, über das paläozoische Orogen der Sudeten sehen; denn dieses ist zum Vorland für die Karpathen geworden, zur Scholle, an der die karpathischen Faltenwellen stranden. Dabei ist das generelle Streichen des Vorlandes quer auf das bogenförmige Vortreten der Karpathen gerichtet.

Wo sich das junge Orogen auf dem Boden des alten entwickelt, da wird der alte paläozoische Bauplan durch die jüngeren alpinen Bewegungen meistens fast völlig verwischt. In einzelnen Fällen sehen wir alten paläozoischen Bau bis zu einem gewissen Grade erhalten. So läßt sich in den Westalpen in den äußeren Massiven noch paläozoischer Bau erkennen, indem sich trotz der alpinen Bewegungen zwischen Graniten tief eingeklemmte variszische Teile (Karbon-Synklinalen) erhalten haben. Auch in den Ostalpen wird z. B. von der karnischen Kette (von Geyer) Oberkarbon in alter transgredierender Lagerung unter den steilgestellten und gefalteten älteren Schichten angegeben. Wenn diese Verhältnisse richtig sind, dann ist dieses Gebiet in der Tat ein echtes Stück Altaiden innerhalb der Alpen, das von der alpinen Bewegung nicht mehr überwältigt worden ist und seinen alten Bauplan beibehalten konnte. Solche alte paläozoische Bauten würden in jungen Orogenen nur in nicht sehr bewegten Gebieten möglich sein.

Das Gebiet der karnischen Alpen ist auch deswegen von besonderem Interesse, weil in dieser Zone an die reichen paläozoischen Ablagerungen des Silur, Devon, Karbon fast unmittelbar die permischen Ablagerungen anschließen, die dann die Triasbildungen einleiten. Auch diese Ablagerungen sind, ähnlich wie die paläozoischen, Ablagerungen einer tieferen See. Die Meeresbedeckung bleibt eine kontinuierliche den ganzen Jura hindurch, und erst in der Kreide werden wir mit einer scharfen Diskordanz wieder rechnen müssen. So zeigt sich in diesem alpinen Gebiete eine vom früheren Paläozoikum bis tief in das Mesozoikum reichende, sogar bathyale? Meeresbedeckung, die nur im jüngeren Paläozoikum auf kürzere Zeit durch eine Gebirgsbildung unter-

Digitized by Google

brochen wird. Dieser Gebirgsbildung folgt aber fast unmittelbar wieder eine kontinuierliche Meeresbedeckung.

Der ältere Akt der Gebirgsbildung und der jüngere ist durch eine lange Phase kontinuierlicher Meeresbedeckung geschieden. Geosynklinale folgt fast unmittelbar auf Geosynklinale.

Die Erstarrung der Orogene ist im allgemeinen ein langandauernder Prozeß, die Gebirgsbildung eine mehr kontinuierliche, wie wir an den Alpen erkennen. Nicht alle Teile des Orogen erstarren gleichzeitig. Der eine vielleicht früher, der andere später. Die Erstarrung erfolgt wahrscheinlich auch in ungleichem Maße.

In der Geschichte der Erde treten uns die proterozoischen, die paläozoischen, die mesozoisch-tertiären Orogene als selbständige tektonische Einheiten entgegen, die sich voneinander scharf abgrenzen lassen.

In sich selbst zeigt jedes dieser Orogene für sich eine wechselvolle komplizierte Genetik.

Die lineare Anordnung im Orogen.

Die Ketten der Orogene ziehen als gedrängte Faltenbündel, Hochländer oder Tiefebenen umwallend, durch die Kontinentalschollen, oder bilden deren Ränder, oder bilden Inselzüge. Überall im Orogen finden wir die typische orogene Breite.

Es ist nun ein recht auffallender Zug im Bau der Erde, wie die orogenen Zonen in Bögen mit Girlanden, in wundervoll geschwungenen Linien auf der Oberfläche des Planeten sich verfolgen lassen. Gerade Leitlinien sind selten. Die Bogenform ist die herrschende und tritt in den Randketten zutage.

Die Stämme der Orogene bestehen aus Bögen und Girlanden von Ketten, die sich meist mit spitzen Winkeln aneinander ketten. Wir wollen einige charakteristische Bilder festhalten.

Ein solches bilden vor allem die ostasiatischen Girlanden, die in den Inselreihen sich offenbaren. Hier kettet sich Bogen an Bogen, jeder einzelne Bogen zeigt eine leichte Konvexität gegen außen.

Ein anderer Typus ist der Bauplan, wie er etwa durch die indischen Ketten, den Himalaya, und die birmanischen Ketten mit deren Fortsetzung durch die Andamanen, Nikobaren gegeben wird. Wir sehen hier, wie die einzelnen Bögen des Stammes sich fast in rechtem Winkel miteinander ketten. Es sieht so aus, wie wenn sich an eine Kette, etwa den Himalaya, die anderen herandrängen, scharen möchten, gleichsam an dieser Kette aufgehängt sind.

Wieder anders sind die komplizierten Bogensysteme, die im Orogen des westlichen Mittelmeeres zutage treten, wo eine intensive Verschlingung der Bögen eintritt.

Digitized by Google

Anders ist wieder das Bild des nordamerikanischen Orogen, in dem mehr gerade Linien vorherrschen. Die Verbindung der Bögen, der verschiedenen Orogenabschnitte miteinander gibt mannigfache und doch wieder charakteristische Linien, die in Abhängigkeit stehen von gewissen Maßen, wie es scheint. Sie sind das Ergebnis bestimmter Prozesse, bestimmter Kräfte und darum von einer gewissen geometrischen Anlage. Bestimmte Winkel, bestimmte Längen, gewisse Bogenformen scheinen bevorzugt zu werden (Deecke).

Der atlantische und pazifische Küstentypus.

Mit der linearen Anordnung der Orogene hängt auch der atlantische und pazifische Küstentypus zusammen. Wo Orogene die Umrandung der Kontinentalschollen und als solche die Küste gegen das Weltenmeer bilden, sprechen wir vom pazifischen Küstentypus. Er zeigt sich in klarer überzeugender Weise in der Umrahmung des pazifischen Ozeans.

Hier verfolgen wir eine einheitliche Orogen-(Kettengebirgs-)zone durch Süd- und Nordamerika, über die Ostseite Asiens bis nach Neuseeland. Nirgends finden wir ähnliches im atlantischen und im indischen Ozean. Hier bilden die alten erstarrten Massen die Küsten. Die den Ozean umsäumenden jungen Orogene fehlen. Das ist der atlantische Küstentypus (E. Suess).

Diese beiden Typen haben im Aufbaue der Erdrinde solche Bedeutung, daß man die gesamte Erdoberfläche in eine atlantische und pazifische Erdhälfte gegliedert hat.

Der tiefere Grund dieser Erscheinung liegt, wie wir sehen werden, darin, daß in der pazifischen Erdhälfte die Orogene stehen geblieben sind und die Kratogene versenkt wurden, während im atlantischen Typus die Orogene versenkt wurden und die Kontinentalschollen stehen geblieben sind, die Umrahmung des Meeres bildend.

Digitized by Google

VI. Die erstarrten Massen.

Allgemeines.

Als erstarrte alte Massen, auch Massive, Schilder genannt, treten uns in der Erde alle jene Partien entgegen, die vor dem Paläozoikum erstarrt sind. Dies sind die Bauten der älteren geologischen Zeit, also die Proteroiden und die Archäiden.

Die Proteroiden sind wieder jüngere Bauten als die Archäiden, aber sie treten im Aufbaue der Erde gegenüber den Archäiden so sehr zurück, daß wir die Kratogene der älteren geologischen Zeit kurz als Archäiden bezeichnen können. Es wurde schon betont, daß es im Laufe der Zeit gelingen wird, noch größere Proteroiden-Anteile im Anfbau der Archäiden nachzuweisen.

Die Proteroiden erscheinen in allen Fällen als orogene Zonen innerhalb der Archäidenfelder. Aber gegenüber den Orogenen der jüngeren geologischen Zeit verschmelzen Archäiden und Proteroiden zu einem kratogenen Felde, das selbst wieder gegenüber den Mesoiden durch Teile der paläozoischen Orogene bereichert wird, so daß gegenüber den Mesoiden alle älteren Baue der Erde (Archäiden + Proteroiden + Paläoiden) als kratogene Felder erscheinen.

So wird der Begriff des kratogenen Feldes ein relativer. Was wir hier als erstarrte Felder bezeichnen, soll sich auf die ältesten Teile der Erde beziehen, auf die Bauten der älteren geologischen Zeit, also auf die Summe der vorpaläozoischen Bauten.

Allgemeine Charakterzüge.

Die alten erstarrten Massen, wie die russische Tafel, der kanadische Schild, die sibirische Tafel, zeigen charakteristische Züge des äußeren und inneren Baues, die sie von den orogenetischen Zonen scharf unterscheiden.

Morphologisch treten uns die alten Massen fast ausschließlich als wenig über den Meeresspiegel sich erhebende weite Ebenen (Tiefebenen) entgegen, die große Teile der Kontinentalschollen aufbauen und die mit die Ursache sind für die geringe mittlere Landhöhe von ca. 800 m. Nur eine einzige erstarrte alte Scholle, die Antarktis, dürfte eine bedeutende Höhenlage einnehmen. Weite Verebnungsflächen höheren Alters gehen über diese Ebenen hinweg. Sie sind natürlich nicht in voller Reinheit erhalten, sondern modifiziert. Aber alle diese Modifikationen können das große Bild einer in geringer Meereshöhe vorhandenen

Digitized by Google

ebenen Kontinuitätsfläche nicht stören. Diese größeren Flächen werden im allgemeinen entsprechend der Oberfläche der Erdkugel konvexe Oberflächen haben.

Tektonisch sind die alten erstarrten Felder charakterisiert, daß vom Kambrium an alle folgenden Schichten flach, fast ungestört, horizontal liegen. Sie sind nicht wesentlich gefaltet. Die Tafel kann durch junge Brüche zertrümmert sein. Dann bildet die Sedimentdecke Kappen auf dem alten Bau. Dieser zeigt in seiner Tiefe immer denselben Bauplan. Die Gesteine sind in der Fazies des echten alten Grundgebirges entwickelt, metamorph und gefaltet. Reiche Intrusionen durchsetzen das tiefere Gebirge. Die Metamorphose, besonders der tieferen Teile, zeigt hohe Umwandlung. Hier finden wir die kristallinen Schiefer in der Metamorphose der tiefsten Tiefenstufe. Nach oben, gegen das transgredierende Paläozoikum zu, gehen die hochgradig metamorphen Serien in weniger metamorphe Gesteine und Schichten über. Hier finden sich die kristallinen Schiefer der oberen Tiefenstufe und z. T. auch fast nicht veränderte Gesteine.

Diskordanzen.

Eine besonders bedeutsame Diskordanz geht über jede alte Tafel hinweg, d. i. die Diskordanz an der Basis des Paläozoikum. Diese Diskordanz ist ungemein scharf und scheidet den alten Faltenbau der Archäiden (Proteroiden) von dem darauflegenden söhligen Bau der Sedimentdecke. Diese Diskordanz ist von größter Bedeutung. Sie erscheint morphologisch oft mit einer solchen Schärfe, mit einer auf weite Strecken zu verfolgenden Verebnungsfläche von so außerordentlicher Ebenheit, daß sie ungemein eindringlich auf den Beschauer wirkt. Diese Diskordanz ist mit auch die Ursache, daß die alten Tafeln auf große Strecken hin als Ebenen erscheinen.

Diskordanzen finden sich häufig noch im tieferen Bau des Grundgebirges, als auch im Aufbau der Schichtdecke. Bekannt sind die großen Diskordanzen in den archäischen und proterozoischen Schichtkomplexen des Seengebietes in Kanada. Durch die Diskordanzen werden Schichtkörper geschieden, die in sich gefaltet, von Intrusionen durchsetzt, einen bestimmten Bau aufzeigen. Verschiedene Zyklen sind durch Diskordanzen geschieden, marine, kontinentale, in diesen wieder aride, glaziale.

Ganz ähnlich findet sich auch in der Sedimentdecke eine Reihe von Diskordanzen. Hier aber scheiden diese nur mehr flach liegende horizontale Schichtkörper voneinander. Diese Diskordanzen sind zweifellos bedeutende Trennungsflächen zwischen Schichtkörpern. Aber sie haben nicht die große Bedeutung, wie etwa die Diskordanzen im Grundgebirge.

Digitized by Google

Dort scheiden sie Gebirgssysteme. Aber keine Diskordanz ist von der Bedeutung wie die, welche die Verebnung geschaffen hat, auf der das Paläozoikum abgelagert wird, horizontal und auf erdumspannende Räume.

Die Schichtfolgen.

Die Sedimente der alten erstarrten Tafeln sind Sedimente des epikontinentalen Zyklus. Es sind immer epikontinentale Ablagerungen, entweder rein kontinentale Bildungen der verschiedenen Klimate, oder marine Bildungen epikontinentaler See. Die pelagischen Ablagerungen sind Bildungen flacher See, von Transgressionsmeeren. Nie finden sich auf den alten Tafeln die typischen geosynklinalen Sedimente. Höchstens randlich kann das Kratogen von tieferen Meeresbildungen erfaßt werden, aber nie im Inneren. Das ist der Boden, der gleichsam zum Herzen einer Kontinentalscholle geworden, eine große Stabilität erworben hat, lange Zeit hindurch als Kontinentalfeld besteht und so als Asyl für das Landleben eine wichtige Rolle spielt.

In den Sedimenten finden sich marine Ablagerungen, Flachseebildungen wie Sande, Schiefer, Kalke. Unter den echten kontinentalen Ablagerungen spielen aride Schichtfolgen eine beträchtliche Rolle.

Die vulkanischen Phänomene treten im Bereiche der alten erstarrten Tafeln zurück. Es gibt Tafelländer, wie etwa die russische Tafel, oder der kanadische Schild, die fast frei sind von jungen vulkanischen Erscheinungen. In anderen Gebieten finden sich an Dislokationen ältere Ergüsse oder junge vulkanische Äußerungen. Solche ältere vulkanische Erscheinungen in Tafeln sind etwa die großen basaltischen Ergüsse Sibiriens, oder die großen Basaltfelder Vorderindiens. Letztere zeigen vielleicht Abhängigkeit von den großen Dislokationen, die mit dem Einbruch des indischen Ozeans in Verbindung stehen. In Afrika wieder finden wir längs der großen Grabenreihe vulkanische Erscheinungen. Diese sind jungen Datums und durch eine Reihe mächtiger Vulkankegel gekennzeichnet.

Die jungen Magmen zeigen alle eine innere Verwandtschaft. Es sind die atlantischen Gesteine, die im Bereiche der alten erstarrten Massen gefördert werden, wie das von Becke in gewissem Sinne bereits erkannt worden ist, indem die atlantischen Magmen hauptsächlich als die Magmen der radialen Dislokationen, der Einbrüche, der Erdrinde angesehen worden sind. Die atlantischen Gesteine sind nie metamorph und erscheinen als einfache Durchbrüche der Erdrinde auf radialen Dislokationen.

Die Deformierung der alten erstarrten Tafeln erfolgt gerne am Rande gegen orogenetische Zonen. Dort werden die Ränder der Tafel in den Wirbel der orogenetischen Bewegungen einbezogen und die Tafel

Digitized by Google

wird durch Dislokationen, mehr oder weniger parallel den Orogenen, gestört. Hier stellen sich dann Gräben, Becken, mulden- oder synklinalartige Deformationen ein. Schollen werden emporgetragen. Es sind randliche, unbedeutendere Umformungen der erstarrten Massen. Diese werden im Kerne, in den zentralen inneren Partien von den Dislokationen fast ganz verschont. Soweit reichen die von den Orogenen ausgehenden Bewegungswellen nicht mehr.

Das alles sind relativ unbedeutende Veränderungen der Kratogene. Größer werden die Deformierungen, die durch Zertrümmerung der alten Tafeln zur Bildung der ozeanischen Senken führen. So ist die indische Tafel weitgehend versenkt. Ihre Fortsetzung nach Süden und Südosten liegt als Boden des indischen Ozeans in der Tiefe. Afrika ist zum großen Teil eine alte erstarrte Scholle, von der bedeutende Teile im atlantischen und indischen Ozean versunken sind. Diese Zertrümmerungen der alten Massen betreffen natürlich auch die Orogene und sind der Ausfluß des allgemeinen Niederbruches der Erdrinde. So führen diese Bewegungen zur Bildung der ozeanischen Senken und wurden aus diesem Grunde thalattogene Bewegungen genannt. Diese Bewegungen sind es hauptsächlich, welche die alten Tafelländer deformieren, während die orogenen Bewegungen an den kratogenen Feldern zerschellen und in relativ unbedeutenden radialen Dislokationen ausklingen.

Die Umrandung einer vollständig erhaltenen erstarrten alten Masse wird immer nur durch Orogene gebildet, entweder durch Paläoiden oder durch Mesoiden. Selten aber ist ein kratogenes Feld vollständig erhalten, meist fehlt ein Stück der orogenen Umrandung. Relativ gut ist die russische Tafel konserviert. Hier bildet die orogene Umrandung fast einen geschlossenen Ring um die Tafel. Im Osten der Tafel liegt das Paläoiden-Orogen des Ural, vom Eismeer bis tief nach Süden hinab. Gegen die Mesoiden bleibt es aber unter der postvariszischen Decke vergraben. Die Mesoiden bilden im Süden die Umrahmung vom Kaukasus bis an die Sudeten. Hier setzen wieder die Paläoiden als Umrahmung ein. Die Grenzlinie ist weiter gegen NW durch die anomodesische Linie (Sobolew) gegeben. Ihre Fortsetzung nach Norden bildet die Überschiebung des skandinavischen Hochgebirges auf das vorliegende Vorland. Vom Nordkap bis zur Halbinsel Kanin ist im Norden die russische Tafel offen, aber auch hier wird wahrscheinlich weiter im Norden ein Schluß vorhanden sein. Suess hat eine solche Verbindung des skandinavischen Gebirges mit dem Ural über die Halbinsel Kanin angenommen.

Was die Schwereverhältnisse in den alten Tafeln anbelangt, so erscheinen sie als schwerere Zonen als die Orogene. Sie zeigen nicht regionalen Massendefekt, sondern normale, in den Horstgebirgen meist Überschwere. Die Gesteine der alten Tafeln repräsentieren im all-

Digitized by Google

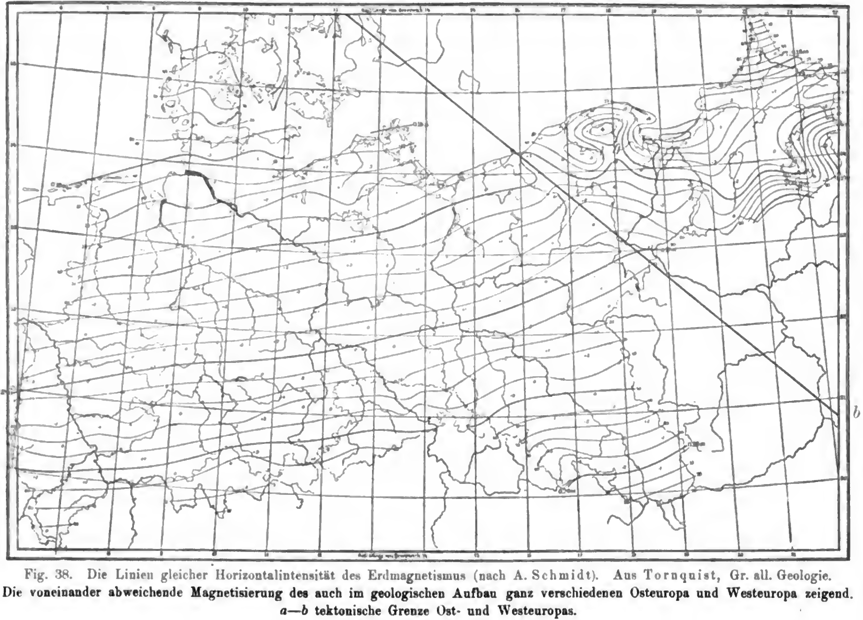


Fig. 38. Die Linien gleicher Horizontalintensität des Erdmagnetismus (nach A. Schmidt). Aus Tornquist, Gr. all. Geologie.
Die voneinander abweichende Magnetisierung des auch im geologischen Aufbau ganz verschiedenen Osteuropa und Westeuropa zeigend.
a—b tektonische Grenze Ost- und Westeuropas.

Digitized by Google

gemeinen in der Entwicklung der echten alten Grundgebirgsfazies Gesteine größerer Rindentiefe. Es sind in der alten Tafel durch alte Abtragungen tiefere Teile der Rinde bloßgelegt. So erscheinen schwere Gesteine. Die simatische Schale kommt der Oberfläche viel näher als im orogenen Trog. Ist dieser seinem ganzen Wesen nach eine Schweresynklinale mit Massendefekt, so ist die erstarrte alte Tafel im allgemeinen eine Schwereantiklinale, bezw. Schweregeantiklinale. Im einzelnen kann auch die Schwere in den Tafelländern eine wechselnde sein.

Auch die magnetischen Verhältnisse zeigen auffallende Bilder. Es sind offenbar tiefere Gesteinszonen der Rinde, die an die Oberfläche kommen und die Magnetnadel in eigenartiger Weise beeinflussen.

Magnetische Anomalien wurden in neuerer Zeit von Deecke verfolgt. In Pommern zeigt sich vielfach eine Abhängigkeit der magnetischen Kurven von der Verteilung eisenreicher Gesteine, so von Basalten und Diabasen. Dies erscheint ganz natürlich. In anderen Fällen zeigen sich wieder Anomalien, durch den tieferen Bau und durch Dislokationen erzeugt. Solche Deformationen des Verlaufes der magnetischen Linien finden sich auch in Orogenen, sind z. B. von Japan bekannt.

In bezug auf die seismischen Erscheinungen gehören die alten Tafeln zu den aseismischen Regionen.

Die Transgressionen und Regressionen auf den alten Tafeln.

Es ist ein ganz charakteristischer Zug der Sedimenttafeln der Archäiden, daß sie als Abkömmlinge epikontinentaler Seen ihre Entstehung Transgressionen verdanken, die weithin die Tafel unter Wasser setzen. Diese Transgressionen gehen von den Geosynklinalen aus und fluten nach bestimmter Zeit wieder in diese zurück.

Das Bild der Transgression als geologische Erscheinung ist vollständig klar. Anders steht es mit den Ursachen. Man hat diese Erscheinungen, so insbesondere E. Suess, auf sogenannte eustatische Bewegungen zurückgeführt, auf positive Bewegungen des Meeresspiegels. Andererseits hat E. Haug die Transgressionen mit tektonischen Vorgängen in Zusammenhang gebracht. Nach Haug besteht im allgemeinen das Gesetz, daß mit dem Auspressen der Geosynklinale das Meer daselbst seichter werden muß, also eine Regressionsphase in der Geosynklinale sich einstellt, der auf dem Kontinentalgebiet eine Transgressionsphase entspricht, da die Wässer der Geosynklinale durch die Orogenbildung eben auf das kontinentale Feld hinaus getrieben werden müssen.

Die Frage nach dem Grunde der in der Erdgeschichte so oft eintretenden großen Transgressionen ist oft diskutiert worden, und lange

Digitized by Google

Zeit haben die Vorstellungen von E. Suess die Literatur beherrscht. Es scheint, daß sich auch in dieser Hinsicht eine Änderung der Anschauung in der neueren Zeit ergibt, indem das tektonische Moment bei Transgressionen betont wird.

Um diese Fragen wenigstens zu beleuchten, wollen wir die Verhältnisse etwa in Europa, im Mesozoikum, kurz betrachten.

In der Trias sehen wir im Geosynklinalgebiet der Alpen, besonders im ostalpinen und dinarischen Anteile, folgende Verhältnisse.

In der Zeit des Werfener Schiefers finden wir, je weiter wir in das Innere der Geosynklinale eindringen, bezw. in je höhere Decken wir gehen, tiefere Sedimente. Gegen die Kontinentalscholle zu finden wir in den helvetischen, besonders aber penninischen Decken Quarzite, in den voralpinen Decken Buntsandstein, also ähnliche Bildungen wie etwa in Deutschland. Auf der russischen Tafel werden gewisse rote Sandsteine für Trias gehalten.

Im Muschelkalk finden wir in den Alpen eine Tieferlegung des Meeresbodens, eine positive Phase. Das gleiche sehen wir auch in Deutschland. Die russische Tafel wird von dieser Welle nicht erreicht.

In der karnischen Stufe folgt in den Alpen im Lunzersandstein für kurze Zeit eine negative Phase. Der entspricht in Deutschland das Kontinental des Keupers. Nur dauert hier die Verlandung viel länger als in den Alpen, wo zur Zeit des Hauptdolomites, des Dachsteinkalkes, bereits eine immer tiefer gehende Meeresbedeckung existiert.

Das Rhät ist für die äußeren Zonen der Alpen eine Regression, also eine negative Phase. Für Deutschland aber ist es eine Transgression, eine positive Phase, da mit dem Rhät wieder die marine Bedeckung eingeleitet wird, die im Jura in Deutschland eine allgemeine wird. Wir haben hier im ganzen eine größere positive Phase vor uns.

Im Jura der Alpen sehen wir ebenfalls ein Tieferwerden der Geosynklinale. Im Oberjura stellen sich weithin die Radiolarite ein, die als abyssische Sedimente angesehen werden. Dieser allgemeinen großen Tieferlegung der Geosynklinale entspricht eine Tieferlegung des Kontinentalgebietes. Die russische Tafel wird weithin, z. T. von einer arktischen Transgression, überflutet. Die größte Transgression ist die der Oberkreide. In der Geosynklinale werden größere Teile zum Gebirge zusammengepreßt. Die Ablagerungen zeigen hier den Charakter flacher See. Die Wässer fließen aus der Geosynklinale auf die kontinentalen Felder ab.

Es erscheint die Tieferlegung der Geosynklinale als die Folge allgemeiner tektonischer Vorgänge. Wir sehen in der Transgression des Jura, in der Hereinziehung größerer Teile der Kontinentalgebiete, gewissermaßen ein Hinabziehen des Kontinentalgebietes in den Ozean,

Digitized by Google

also einen tektonischen Vorgang. Ebenso halten wir die Transgression der Oberkreide für ein tektonisches Phänomen.

Es kann aber auch Transgressionen geben, die echte eustatische Bewegungen im Sinne von E. Suess sind, wenngleich wir uns nicht vorstellen können, warum zu einer Transgressionszeit auf einmal der Meeresspiegel auf der ganzen Erde um Hunderte von Metern wachsen sollte. Dies scheint als unwahrscheinlich. Viel richtiger ist es, mit einer gewissen Konstanz der Hydrosphäre zu rechnen, wenigstens für eine bestimmte Formation. Wenn bei dieser Konstanz der Menge der Hydrosphäre eben Umlagerungen eintreten, das sind eben diese Transgressionen und Regressionen, so dürften sie doch in erster Linie auf Formveränderungen der Erdoberfläche, auf Massenveränderungen des Erdinneren, oder auf allgemeinere kosmische Ursachen und Kräfte zurückzuführen sein.

Transgressionen und Regressionen sind die Bewegungen der Hydrosphäre, die der Hauptsache nach durch große Undulationen und Deformierungen der Erdrinde entstehen.

Die Größenverhältnisse der alten erstarrten Tafeln zeigen im allgemeinen wohl keine bestimmten Maße und Formen. Es sind ungleich große, viereckig bis mehr rundlich begrenzte Teile der Erde, die das Rückgrat der Kontinente bilden. In Asien bilden mehrere solcher alter Tafeln eine Einheit, einen Kontinent. Am größten unter den alten Massen ist der nordamerikanische Schild mit Grönland. Hier tritt uns eine erstarrte Scholle in der Erdrinde entgegen, von großen Dimensionen, viel größer als die anderen derartigen Zonen. Relativ sehr klein dagegen ist die sinische Masse in Ostasien, Teile von China umfassend.

Die bekannten alten erstarrten Massen.

Die russische Tafel, die russische Ebene einnehmend, mit den dazu gehörigen Vorlagen gegen Westen, in NO-Deutschland, in Finnland und in Schweden. Die eigentliche russische Tafel, der baltische Schild, der finnische Schild bilden eine tektonische Einheit, die durch die Erstarrung in vorpaläozoischer Zeit ausgezeichnet ist.

Auf dem ganzen Raume liegen die paläozoischen und jüngeren Sedimente flach ungestört, mit Ausnahme etwa des Gebietes des asowschen Horstes, wo wir paläozoische Ablagerungen in Annäherung an die alpine Zone gefaltet finden. Diese Faltungen gehören in den Bereich der Rahmenfaltungen, der Rahmendislokationen der kratogenen Felder, in Annäherung an orogene Zonen. Solche Fälle lassen sich auch in anderen Kratogenen aufzeigen.

Der typische Bauplan der alten erstarrten Massen wird von der russischen Tafel (im weiteren Sinne) in aller Schärfe festgehalten. Sie zeigt wenige größere Dislokationen, etwa wieder nur in Annäherung an

Digitized by Google

den Ural, so die W—O laufende Störung am Wolgaknie bei Samara, oder in Annäherung an die Kaledoniden, an die Sudeten. Aber im Inneren der Tafel wird der alte Bauplan treu festgehalten. Auch Eruptionen finden seit alter Zeit keinen Durchlaß. Die paläozoischen und mesozoisch-tertiären Gebirgsbewegungen sind an der russischen Tafel fast spurlos vorüber gegangen.

Die Umrahmung der russischen Tafel wurde schon einmal besprochen und kann hier kurz angeführt werden. Im Osten haben wir im System des Ural von der Küste des Eismeeres bis in den Höhenzug zwischen Kaspi- und Aral-See (Mugodarisches Gebirge) einen Teil aus einem paläozoischen Orogen vor uns, der in jüngster Zeit wieder belebt worden ist und daher morphologisch wieder in Erscheinung tritt. Im Ural enthüllt sich ein N—S streichendes paläozoisches Faltengebirge, das mit den westlichen Ästen der Paläoiden um Armenien herum in Verbindung gestanden hat. Heute ist in diesem Bogenstück der mesozoisch-tertiäre Kettenbau vorhanden, der die Grenze gegen die alte Tafel zugleich bildet, und zwar vom Kaukasus an, bis wieder unter den jungen Kettengebirgen die Paläoiden herauskommen mit ihrem alten Bauplan. Das ist auf der Westseite des karpathischen Bogens, in den Sudeten der Fall. Die scharfe Grenzlinie zwischen der Tafel und dem paläozoischen Orogen liegt in Polen und Deutschland in der Tiefe der jüngeren Bedeckung vergraben. Der Harz ist eines der am weitesten nach Osten vorgeschobenen Horstgebirge des paläoiden Orogen. Die Grenze gegen den finnischen Schild bildet die Überschiebungslinie des skandinavischen Hochgebirges auf die Tafel im Osten, von Bergen bis zum Nordkap. Im Norden senkt sich die Tafel in das Eismeer, ohne daß auch hier der orogene Ring sichtbar wird, der als die Verbindung vom Ural zu dem skandinavischen Hochgebirge zieht und die Tafel im Norden abschließt.

Was die Verteilung und Lagerung der Schichten anbelangt, so finden wir auf der russischen Tafel die kambrischen Sedimente in der typischen epikontinentalen (nordischen) Fazies, der Hauptsache nach am Rande des finnischen Golfes bis zum Ladoga-See. Dann folgt ein etwas breiteres Band von Silur. Das Devon nimmt einen viel größeren Raum ein und bildet eine fast einheitliche Fläche bis südlich der Dwina. Die Grenzlinie läuft von der Ostsee, südlich von Mitau in östlicher Richtung bis Smolensk. Nach Norden hinauf zieht das Devon als schmales Band an das Weiße Meer bis Archangelsk. Das Karbon läßt sich wieder als bogenförmiges Band verfolgen, das sich von Toula über Kalouga, dann westlich von Twer und dann in gerader nördlicher Richtung bis gegen Archangelsk hinzieht.

An diesen Bogen schließen sich im südlichen Teile um Moskau, dann über Riasan bis Simbirsk hauptsächlich jurassisch-unterkretazische Schichten an. Dieser Streifen setzt in der Richtung von Kostroma

Digitized by Google

über die Wolga und ist in nördlicher Richtung bis in die östlichen Quellflüsse der Dwina zu verfolgen. Westlich von diesem Bande breitet sich ein breites Feld von Perm und Trias aus, das aber nicht unmittelbar an das Paläozoikum angrenzt, sondern von diesem durch ein breites Quartärbecken getrennt ist. Aus dieser Quartärniederung ragt an der Wolga bei Mologa-Jaroslav eine Scholle von Jura-Kreidegesteinen auf. Die Trias und das Perm baut die Ebene des Flußgebietes der Kama und der Samara auf und bildet von Orenburg im Süden bis Tscherdyn (nördlich von Perm) im Norden das Vorland der uralischen Faltenzüge. Die Kreide findet sich im südlichen Rußland als Umrahmung der karbonen und jurassischen Schichten von Mohilev über Woronetz, Tambov bis an die Wolga, von Saratov bis Simbirsk. Diesem Rande folgt dann gegen Süden als breite Zone das ältere Tertiär und noch näher gegen die alpine Geosynklinale findet sich das Jungtertiär. Quartär in mariner Fazies nimmt den Osten der Wolga ein bis hoch hinauf gegen Kasan. Hoch oben im Norden bildet ebenfalls marines Quartär ein weites Feld zwischen dem Ural und dem Flusse Dwina.

Die russische Tafel bildet im ganzen eine große Mulde zwischen den umrandenden Faltenzügen, so zwar, daß die Hauptmasse der jüngeren Sedimente heute noch in der Ebene im Süden vorhanden ist. Gegen die Faltenumrahmung zu stellen sich fast parallel mit dieser Aufbrüche älterer Schollen ein, die im Norden durch den Timanzug, im Süden durch den asowschen Horst, dann durch den wolhynischen Granitaufbruch gekennzeichnet sind. Weiter westlich noch tritt uns als Vorläufer sudetischen Baues der polnische Horst (Gebirge von Kielce) entgegen, der im Norden von der breiten Quartärtafel begrenzt wird.

Die Schichtfolgen der russischen Tafel sind, soweit sie marin sind, Transgressionsfolgen aus den die Tafeln umbrandenden Ozean-, bezw. Geosynklinalgebieten. Wir unterscheiden hauptsächlich nordische, boreale Transgressionen und südliche, mediterrane, die von der Tethys abstammen. Typische mediterrane Bildungen sind die Tertiärbildungen des Südens, während die Juraschichten als boreale Transgression aufgefaßt werden (Boreale Provinz).

Vulkanische Erscheinungen fehlen. Tektonisch gehört die russische Tafel zu den relativ ungestörtesten Teilen der Erde. Das gilt bis in die jüngste Zeit. Daher repräsentiert die Tafel auch eine aseismische Zone.

Der kanadische Schild.

Er ist ein würdiges Seitenstück der russischen Tafel. Räumlich umfaßt dieses erstarrte Schollenland der Erde große Gebiete, ganz Nordamerika samt dem arktischen Archipel, ausgenommen die junge Ketten-

Digitized by Google

gebirgszone des Westens, die alte paläozoische Orogenregion der Appalachen und ihrer westlichen Fortsetzung, endlich die Vereint-Staatenkette auf Grantland.

Im kanadischen Schild scheidet sich im Seengebiete des südlichen Kanada die proterozoische Zone des Lake superior scharf ab. Mit Ausnahme dieser Region, in der proterozoische Elemente hervorragenden Anteil nehmen, bildet den Untergrund des Schildes, besonders im Norden auf weite Gebiete hin, echtes Archäikum.

Der eigentliche kanadische Schild tritt in den weiten Grundgebirgsflächen zutage, die sich von der Mündung des Lorenzostromes bis zu der des Mackenzie ausdehnen. Fast ganz Grönland gehört diesem Baue an. Im Schilde selbst finden sich noch paläozoische Bedeckungen, Silur und Devon in der Süd-West-Umrahmung der Hudson Bai. Als fast geschlossene Zone treten die paläozoischen Glieder in der Nord-, West- und Süd-Umrahmung des Schildes auf. Dieser Zug zieht vom arktischen Archipel längs des Mackenzieflusses an den oberen See, nimmt im Süden, in den Vereinigten Staaten große Räume des Interior Lowland ein. Grantland im äußersten Norden des Archipels ist ein Glied einer jungen Faltenkette, also die Abgrenzug des Schildes im Norden. Im Nordosten zeigt der Schild nur z. T. orogene Umrandung. Der kanadische Schild tritt an den Atlantik unmittelbar heran.

Wir wenden uns hier einer kurzen Beschreibung des südlichen Anteiles des Schildes zu, dem in den Vereinigten Staaten liegenden Interior Lowland.

Diese weite Region der Vereinigten Staaten ist charakterisiert durch wenig gestörte Schichten und durch eine Oberfläche von niedrigem Relief. Die weiten Ebenen werden von niedrigen Hügelzügen unterbrochen oder von Plateaus mit mäßigem Relief. Im Osten herrschen die paläozoischen Schichten, im Westen mesozoische und zum geringeren Anteile tertiäre.

Die geologische Geschichte in der präkambrischen Zeit umfaßt die Bildung des alten Grundgebirges, das im nördlicheren Teil, in der Seeregion, zum Vorschein kommt. Die Gesteine sind metamorph, gefaltet und von Eruptiven durchsetzt.

Die paläozoische Epikontinental-See. Während der paläozoischen Periode ist der größte Teil des Inneren der Vereinigten Staaten von einem flachen Meere bedeckt. Bedeutende Oszillationen der Küstenlinie sind zu erkennen. Verschiedenartige Sedimente kommen zur Ablagerung. So ist im mittleren Ordovician, dann wieder im mittleren Silur fast die ganze Region versenkt. Gegen Ende des Silur erscheint Land in weiter Ausdehnung wieder. Arides Klima herrscht im nordöstlichen Teile dieses Landes. Eine allgemeine Versenkung folgt in der mittleren Karbonzeit. Gegen Ende des Paläozoikum beginnt im

Digitized by Google

allgemeinen eine Festlandsphase, die bis in das jüngere Mesozoikum andauert. Während der Trias und des Jura ist Land vorhanden und im westlichen Teile herrscht wahrscheinlich arides Klima.

Da mit der paläozoischen Gebirgsbildung in den Appalachen eine weitgehende Inundation der Tafel zusammenhängt, so ist es auch wahrscheinlich, daß mit der spätmesozoischen Gebirgsbildung eine Überflutung der Tafel wieder herbeigeführt wird. Diese Inundationsphase umfaßt vor allem die westlichen Gebiete im Anschlusse an die Rocky Mts. Hier findet sich die Oberkreide in weiter Verbreitung. In Verbindung damit ein schmales Band von Alttertiär. Im Kaenozoikum folgt abermals eine Landära, diese scheint im besonderen im östlichen Teile eine Phase der Denudation gewesen zu sein. In den „Great Plains" entstehen beträchtliche lokale Ablagerungen. Diese „Great Plains" scheinen in dieser Zeit tiefer gelegen zu sein als jetzt und haben im Miozän und Pliozän ihre heutige Topographie und klimatischen Verhältnisse erhalten. Während der Eiszeit flossen Inlandeismassen von Nordwest gegen Süden, bis an die Mündung des Ohio River.

Die morphologische Entwicklungsgeschichte läßt weite Verebnungen erkennen und wahrscheinlich sind die in verschiedenem Niveau auftretenden Peneplains, so in den Appalachen, in deren Fortsetzung nach Westen, Quachitabergen, dann die tiefer liegenden Ebenen, ident, also einer großen Verebnung des Landes angehörig. Diese weite Denudationsfläche ist nicht älter als jungtertiär. In den Great Plains kann die Peneplain nicht älter sein als miozän, denn auch dieses nimmt an der Verebnung teil. Die heutigen Flußsysteme sind dagegen jung.

Stratigraphie.

In der weiten Region finden sich beinahe alle Gesteine vom Präkambrium bis zum Tertiär und Pleistozän entwickelt. Es können sogar in einigen Fällen fast vollständige Profile durch die ganze Serie beobachtet werden. Es lassen sich große horizontale Veränderungen in der Fazies der Schichten verfolgen. So ist das Karbon am östlichen Rand hauptsächlich durch Sandsteine repräsentiert, während im Westen wieder Kalke dominieren.

Präkambrium.

Die ältesten kristallinen Gesteine bilden am nördlichen Rand des Tieflandes den Untergrund, in den Adirondack-Bergen von New York, in dem Ozarkplateau, in Texas und in anderen schmalen Zonen. Sie liegen unter paläozoischen Sedimenten begraben und wurden in einigen Fällen durch Bohrungen angefahren. Präkambrische Elemente finden sich in typischer Folge im Lake Superiorgebiet, dort mit reicher Gliederung.

Digitized by Google

Paläozoikum.

Es erreicht bedeutende Mächtigkeiten, so im nordöstlichen Teile 300—600 m und im nördlichen Illinois, in West-New York und Pennsylvania 2200—2700 m. Weiter süd- und südwestwärts ist die Dicke der Schichtgruppe selten bestimmbar. In der Ozarkregion von Missouri ist die Dicke ungefähr 400—500 m. Im Vergleich mit den gleichen Bildungen der Appalachen enthält das Paläozoikum des inneren Tieflandes mehr Kalk und Schiefer, dagegen weniger Sandstein und noch weniger Konglomerate.

An der Basis des Paläozoikum liegt fast überall ein Sandstein von 10—300 m Mächtigkeit. Das ist die Potsdam-Formation von New York und Wisconsin. Sie ist wahrscheinlich in den verschiedenen Provinzen nicht gleichaltrig. Im Süden und im Westen enthält dieser basale Sandstein eine mittelkambrische Fauna, im Norden und im Osten mehr oberkambrische Faunen.

Darüber folgt nun ein Wechsel von kalkigen, schiefrigen und sandigen Bildungen. Der Kalkstein ist reichlich in der westlichen Tiefebene vorhanden, während östlich vom Mississippi die Sandsteine und Schiefer überwiegen. Die Gesteinsserie reicht vom Kambrium bis in das Unterkarbon (Mississippian). Sie enthält fünf Hauptniveaus von Kalken. Die tiefste Lage ist von Kambrium-Ordovician-Alter. Das ist der „Lower Magnesian limestone“ des oberen Missouritales. Dann folgt das zweite Hauptlager, der „Trenton limestone“. Es ist sehr fossilreich. Das dritte Niveau bildet der „Niagara-limestone“. Er ist dicker im Westen als im Osten, wo er z. T. ersetzt wird durch Schiefer und Sandsteine. Der Mitteldevonkalk herrscht vor im Nordosten, ist aber nicht im Westen des Mississippi erkannt. Das fünfte bedeutende Kalkniveau liegt im Mississippian System und ist längs dieses Flusses am besten bekannt. Es verschwindet allmählich ostwärts. Diese Formationen sind allgemein durch Schieferniveaus getrennt. Nach Osten hin gehen die Schiefer dann in Sandsteine über.

Obwohl fast alle diese Schichten flach liegen, gehen doch Diskordanzen hier und dort durch die verschiedenen Horizonte. Aber sie sind nicht überall klar zu erkennen. Einige sind mehr lokaler Natur, andere wieder sind regionale Phänomene von größerer Bedeutung. Die erste dieser Diskordanzen findet sich über dem Cambro-Ordovician limestone und ist weit über das Interior Lowland zu verfolgen. Die zweite liegt an der Basis der weitverbreiteten Schiefer mit der Richmondfauna. Sie ist spät ordovizisch. Eine weitere Unterbrechung der Schichtfolge geht durch den unteren Teil des Devon. So liegt auf weite Strecken der Mittel- und Oberdevonkalk auf Niagarakalk, in manchen Fällen auf noch älteren Schichten.

Digitized by Google

Die Faunen dieser Schichten sind z. T. Lokalfaunen, z. T. aber echte kosmopolitische Faunen. Dies gilt besonders für die letzten drei Faunen. Die älteste von diesen ist Mittel- oder Oberordovician (Trentonkalk). Die zweite findet sich im Niagarakalk und ist Silur. Sie hat manche Spezies mit Europa und Asien gemein. Die letzte ist die große holarktische Fauna des Oberdevon, die mit Veränderungen in das Mississippian fortsetzt.

Über dieser Folge von älterem Paläozoikum liegt das obere Karbon und die jüngeren Formationen. Die Kohlenlager des Pensylvanian liegen diskordant auf ihrer Unterlage. Diese Diskordanz ist die bedeutendste im Paläozoikum. Das Pensylvaniansystem besteht weithin aus einem Wechsel von Sandstein, Schiefer und Kalk. An der Basis liegen meist Sandsteine mit mehr oder weniger Geröllen. Nur gelegentlich finden sich dünne Kohlenflöze. Diese Formation wurde früher „Millstone grit" genannt. Jetzt besteht dafür eine Reihe von Lokalbezeichnungen. Im Westen nehmen die Kalke überhand, im Osten die Sandsteine und damit nehmen die Kohlenflöze an Zahl und Mächtigkeit zu. Über breite Areale dehnt sich im Interior Lowland das Pensylvanian aus und bildet die Oberfläche.

Längs des Ostrandes geht das Pensylvanian in kohlenführende Schichten mit permischen Pflanzen über. In den großen Ebenen des Westens bildet das jüngste Paläozoikum rote Sandsteine mit Schiefer, gelegentlich mit Gips. Diese Schichten gehen dann allmählich in Trias über. In Kansas und in den Nachbarstaaten enthält das paläozoische System unter den „Red Beds" marine Fossilien. Sie sind als Perm betrachtet worden.

Mesozoikum.

Die Formationen des Mesozoikum finden sich meist im Westen. Am Westrand ist die Trias repräsentiert durch rote schieferige Sandsteine und Gips, gewöhnlich von den permischen Ablagerungen nicht zu trennen. Massive Juraschichten liegen über den roten Schichten in der äußersten Nordwestecke.

Die Hauptmasse des Mesozoikum bildet die Kreide. Die untere Kreide (Comanchean) ist im Südwesten entwickelt, in Texas, in Oklahama. Sie besteht aus Sandsteinen, Schiefern und Kalk. Der Kalk wird im Süden mächtiger. Die Oberkreide liegt z. T. unkonform. An der Basis liegt der weitverbreitete aber dünne Dakota-Sandstein mit fossilen Blättern und ist augenscheinlich nicht marin. Darüber folgt eine mächtige Folge von Schiefern oder Tonen, mit viel Kalk in der Mitte, nach oben aber übergehend in Sande.

Digitized by Google

Tertiär.

Diese Ablagerungen fehlen gänzlich östlich des Missouri und finden sich nur im Westen. In den „Great Plains“ umfaßt das Tertiär eine Folge von Geröllen, Sanden, Tonen. In ihnen liegen die „Bad Lands“. Das Tertiär liegt diskordant über der Kreide, enthält eine Reihe von Vertebratenfaunen. Die Ablagerungen sind hauptsächlich von oligozänem und miozänem Alter, aber auch jüngere Horizonte, wie Pliozän, ältestes Pleistozän sind vorhanden.

Tektonik.

Die präkambrischen Gesteine sind gefaltet und mehr oder weniger metamorph. Einige von ihnen sind von verschiedenen Eruptivgesteinen intrudiert.

Die paläozoischen und mesozoischen Gesteine liegen im Interior Lowland im allgemeinen ungestört. Sie können auch leichte Undulationen eingehen oder domförmige Aufwölbungen, wie etwa in der Ozark Region in Missouri. Auch seichte Falten können sich einstellen, wie etwa in Michigan. Ausnahmsweise finden sich schärfere Formen von Dislokationen in schmalen Zonen. In einigen Fällen hat normale Faltung auch zu stärkeren Deformationen geführt. So gibt es z. B. in Nord-Illinois eine scharfe unsymmetrische Antiklinale, die als Unterlage des Karbon Gesteine des Ordovician heraufbringt. Ähnliche Falten gibt es längs des Ohio.

Vulkanische Intrusionen sind selten in der ebenen Region. Einige schmale Gänge durchschneiden das Paläozoikum in Central-New York und näher der Mündung des Ohio. In SW-Texas gibt es häufiger postkretazische Eruptiva. Diese werden als Übergangszone der Westplateau- zu der Rocky Mts.-Provinz angesehen. Die tertiären Ablagerungen sind meist gefaltet, enthalten nur vulkanische Aschen.

Verteilung der Strukturen.

Im östlichen Gebiet des Interior Lowland bilden die paläozoischen Schichten breite flache Bassins und breite Dome. Der Cincinnati- und Nashville-Dom bringen ordovizische Gesteine herauf, umgeben von jüngerem Paläozoikum. Der Wisconsin-Schild und der Adirondak-Dom haben ähnlichen Ursprung, da die paläozoischen Schichten leicht abfallen von einem präkambrischen Kern. In allen Fällen sind die Schichten weniger als 1 % geneigt.

In der Ozark-Region des südlichen Missouri, dann in Nord-Arkansas formen die paläozoischen Schichten flache Dome, in deren Zentren Kambrium und Präkambrium erscheinen. Falten und Brüche finden sich.

Im zentralen Texas gibt es einen Horst alter Gesteine mit peripheren Falten. In den Great Plains ist die Struktur die einer breiten

Digitized by Google

Synkline, die flach nach Osten ausklingt, gegen die Rocky Mts. dagegen sich schärfer abhebt. Diese große Synklinale ist mit mesozoischen und paläozoischen Sedimenten ausgefüllt.

Seismizität.

Infolge dieses ruhigen Baues gehört das ganze Gebiet zu den aseismischen Regionen der Erde. Im Interior Lowland ist in den letzten 200—300 Jahren bloß einmal ein heftiges Erdbeben vorgekommen.

Die afrikanische Tafel.

Ein weiterer solcher alter Horst ist die afrikanische Tafel. Nach Suess umfaßte diese ganz Afrika mit Ausnahme der Atlasregion im Norden und des Kapgebirges im Süden. Ferner gehörte noch Indien dazu. Suess nannte diese Einheit den indoafrikanischen Bau.

Die neuere Zeit hat wahrscheinlich gemacht, daß Afrika kein einheitliches Gebilde ist. Gefaltetes Paläozoikum ist aus den „Sahariden“ des westlichen Afrika bekannt geworden. Es ist ferner wahrscheinlich, daß die metamorphen Schiefer in Ostafrika, im Osten des Kiwu-Sees, paläozoisch sind. Wahrscheinlich sind auch die mannigfaltigen Schichtserien des Kongobeckens paläozoisch. In allen diesen Fällen dürfte es sich um orogene paläozoische Schichtkomplexe handeln, nicht um Tafeln. Infolgedessen werden wir in Zukunft einzelne Teile aus der Tafel ausscheiden müssen. Immerhin bleibt aber für das ganze äthiopisch-arabische Gebiet der Bauplan bestehen, der für den afrikanischen Bau charakteristisch ist.

Hier erscheinen wieder als Untergrund längs der Küsten des Roten Meeres und weit in das Innere nach Westen und Osten hinein präkambrische Gesteine. Sie werden von einer ungemein scharfen Verebnung abgeschnitten. Darüber folgt ein Sandstein, afrikanischer auch nubischer Sandstein genannt, eine aride Bildung, die das ganze Paläozoikum und das tiefere Mesozoikum (vielleicht) vertritt. Im syrischen Graben, in der Nähe von Maan, ist Kambrium mit Paradoxides bekannt geworden. Am Roten Meer kennt man Karbon. Trias und Jura sind noch nicht im Inneren nachgewiesen worden. Jura findet sich erst gegen die alpine Geosynklinale, bezw. gegen die madagassische. Ähnlich ist auch die Verbreitung der Kreide. Es handelt sich hier um Transgressionen von den umliegenden Geosynklinalen aus. Eozän ist weithin als Nummulitenkalk bestimmt. Gegen die alpinen Ketten zu folgt Miozän und Pliozän.

Wieder ist es eine recht lückenhafte, z. T. rein kontinentale (aride), z. T. epikontinentale Schichtfolge. Diskordanzen sind zweifellos vorhanden, aber schwer nachweisbar.

Digitized by Google

Tektonisch ist der Tafelbau weithin klar ausgesprochen. Jüngere Deformationen haben die Tafel zertrümmert. Eine eigenartige Dislokationsform ist die der syrisch-afrikanischen Grabenreihe. Sie wurde früher schon kurz beschrieben. Leichte domförmige Aufwölbungen finden sich in der Tafel, leichte Faltenwellen im libanotischen System gegen die taurischen Ketten.

Morphologisch finden wir eine weite Denudationsfläche über das Land hinweggehen. Im Norden Syriens ist das Miozän in diese allgemeine Verebnung einbezogen. Hier ist sie also jünger als miozän. Im Süden liegt das Eozän in der Peneplain. Jedenfalls ist die Verebnung eine junge. Diese jüngere Einebnung ist die wichtigste Denudationsfläche. Die älteste Einebnung ist die alte vorkambrische.

Im Zusammenhange mit den großen Grabenbrüchen stehen vulkanische Erscheinungen. In der Kreide finden sich die ersten Spuren. Sie dauern seit dieser Zeit bis in die Gegenwart.

Die sibirische Tafel.

Sie ist das Gegenstück zur russischen Tafel und breitet sich vom Ural ostwärts bis an die Gebirgszüge der Ostumrahmung des Baikalsees, bis an den Werchojanischen Bogen. Im Norden ist möglicherweise auf der Taimyrhalbinsel gefaltetes Paläozoikum vorhanden, so daß die Tafel im höchsten Norden Asiens nicht das Meer erreicht. Im Süden ist der Sajanische Bogen etwa die Grenze. Hier liegt auch das Amphitheater von Irkutsk.

Innerhalb dieses Rahmens liegt die Tafel. Wieder ist altes Gebirge als Unterlage vorhanden, dann folgt ein z. T. kontinentales Paläozoikum (Salz und Gips im Devon). Das Mesozoikum bilden die Angaraschichten. Sie gehen z. T. in das jüngere Paläozoikum zurück. Trias ist vorhanden, dann Jura. Gegen die Geosynklinale gegen Norden und Süden erscheinen jurassische Transgressionen. Die Schichtfolge ist in der Tafel ziemlich lückenhaft. An der Angara stellen sich weite Basalt-Ergüsse ein. Das Alttertiär ist durch kontinentale (lakustre) Bildungen vertreten.

Morphologisch sehen wir wieder eine weite Verebnung über die ganze Tafel hinweggehen. Diese Verebnung ist aber durch jüngere tertiäre Bewegungen weitgehend gestört worden. So gräbt sich die Lena einen Cañon von 300 m Tiefe, um die aufgewölbte Tafel des östlichen Gebietes zu durchschneiden. Im Sajanischen Bogen ist die Umrahmung der Tafel hoch emporgetragen, sogar überfaltet worden, und zwar nach innen, also gegen Norden. Diese Überquellung des Sajanischen Bogens ist jung, nicht alt, wie Suess glaubte. Im Altai liegt nicht ein alter Scheitel. Die ganze Region repräsentiert eine relativ jung gestörte Region. Die Störungen sind disjunktive

Digitized by Google

Dislokationen, die jünger sind als die Peneplains. Denn diese sind überall von der Dislokation zerschnitten. Noch vor dem Miozän reichte die Verebnung der sibirischen Tafel vom Baikal-See gegen Süden und Osten und alle die Gebirgszüge, die im Bogen den Baikal-See, das Amphitheater von Irkutsk umgeben, sind neubelebte Horstgebirge auf (proterozoischen?) und paläozoischen Geosynklinalen.

Tektonisch ist also für weite Teile der typische Tafelbau in seiner vollen Reinheit gewahrt. Nur gegen die orogenen Zonen der Umrahmung stellen sich randliche Deformierungen jüngeren Datums ein. Auf diesem Wege ist die Südumrahmung des Amphitheaters von Irkutsk, der Sajanische Bogen in Neubelebung eines alten Orogen entstanden.

Diese Neubelebung ist die am weitesten gegen die Tafel vordringende faltende Welle, die von den jungen, die Tafel umbrandenden orogenen Zonen ausgegangen ist.

Wir haben nun einige Beispiele der alten erstarrten Massen vorgeführt und wollen der Vollständigkeit halber die auf der Erde noch erkennbaren Archäidenstücke hier kurz anführen.

Die sinische Masse, die chinesische Tafel, umfaßt den größten Teil Chinas. Die Abgrenzung ist aber noch recht unsicher. Tatsache ist, daß auch in China eine alte erstarrte Masse vorhanden ist mit ähnlichen Merkmalen, wie wir sie bisher kennen gelernt haben. Ein altes Grundgebirge, z. T. reich entwickeltes Präkambrium, darüber in großer Diskordanz die Tafelsedimente, unter denen wieder die kontinentale Ablagerung (Überkohlensandstein) mit reicher Kohlenführung überwiegt. Die sinische Masse grenzt im Westen an die innerasiatischen Schollengebirge, die aller Wahrscheinlichkeit nach neubelebte Paläoiden sind. Im Südwesten ist das System des Nanschan die Grenze. In Südchina, in Tonking und Jünnan ist die Tafel von den alpinen Ketten begrenzt.

Die indische Tafel bildet Vorderindien und ist im Norden von den Himalaiden begrenzt. Gegen das Meer ist die Tafel abgebrochen und versenkt.

Die australische Tafel bildet hauptsächlich den westlichen Teil des Kontinentes. Der östliche Teil mit der Gebirgsregion ist ein paläozoisches Glied. Die australische Tafel zeigt ebenfalls alle typischen Merkmale der alten erstarrten Tafel.

Die antarktische Masse umfaßt das ganze Südpolargebiet mit Ausnahme von Grahamland und möglicherweise von Kg. Eduard Land. Auch hier sind alle Merkmale der alten erstarrten Tafel zu finden.

Die brasilianische Masse. Suess hat das ganze Südamerika mit Ausnahme der andinen Kette und der Sierren de la Ventana als alte Masse betrachtet. Woodwarth hält die Schiefer des Gebirges von Rio de Janeiro für paläozoisch. Demnach müßte der Ostteil der

Digitized by Google

Küste noch abgeschieden werden. Auch im argentinisch-patagonischen Vorlande möchte man eher paläozoisches Gebirge erwarten, wie solches vielfach in den pampinen Sierren zutage tritt. Dann finden sich noch im Mündungsgebiete des Amazonenstromes Schiefer des Paläozoikum. Haug betrachtet diese als geosynklinale Abkömmlinge. Dann hätte auch dieser Teil auszuscheiden. Sollten sich in Zukunft diese Annahmen bewahrheiten, so wird nur ein kleiner Teil des südamerikanischen Kontinentes als alte erstarrte Masse übrig bleiben. Daß sie vorhanden ist, ist ohne weiteres einleuchtend und sie dürfte der Hauptsache nach in Brasilien vorhanden sein.

VII. Analyse der Kontinente.

Wir beginnen mit der tektonischen Analyse des sichtbaren Teiles der Erdoberfläche, mit den Kontinentalkörpern. Wir zerlegen dieselben in ihre großen tektonischen Einheiten, aus denen sie im Laufe der Zeit entstanden sind, und geben eine kurze Diagnose dieser einzelnen Zonen zueinander und zum Ganzen.

Europa.

Von einer Reihe von Forschern wurde versucht, den Bau dieses Erdteiles auf einfache Gesetze zurückzuführen. In dieser Hinsicht haben wieder die Analysen von E. Suess mit der Zeit alle anderen Versuche fast verdrängt. Die Anschauungen von Suess über den Bau von Europa wurzeln in der Vorstellung, daß in diesem Erdteil die Bewegung seit alter Zeit nach Norden gerichtet ist.

So sind die paläozoischen Gebirge durch ganz Mitteleuropa nordbewegt. Diese alte Bewegung findet sich in den mesozoisch-tertiären Ketten, und zwar in dem Stamme der Alpiden wieder. Diese sind nur posthume Altaiden. Die alpine Faltung ist eine Faltung im Rahmen der Altaiden. Die Dinariden dagegen sind die Ausläufer der asiatischen Randketten. Sie sind nach Süden bewegt. Altaiden sind der Kaukasus. Vor Jahren wurde auch diese Kette von Suess zu den Alpiden gerechnet. Erst in letzter Zeit hat Suess diesen Zusammenhang aufgegeben. Der Balkan endigt daher mit freiem Ende. Der Ural ist ein Stück der Randbögen Asiens.

Digitized by Google

Der Bau von Europa steht nach Suess in einem gewissen prinzipiellen Gegensatze zu dem von Asien. In Asien geht die Bewegung immer nach Süden, nach außen, in Europa dagegen immer nach Norden und nach innen. Die Erscheinungen in Europa sind nach Suess gegenüber denen von Asien nur Ausnahmefälle. Die Nordrichtung der Bewegung in Europa ist nur eine Rückbewegung, eine Rückfaltung der asiatischen Bewegung.

Ich habe schon 1911 zu zeigen versucht, daß diese allgemeinen Gesetze von Suess für den Bau von Europa nicht gelten. Sie gelten auch nicht für Asien. In Wirklichkeit sehen wir in Europa wie in Asien Nord- und Südbewegung, dann auch andere Bewegungsrichtungen. Auch die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Gebirgszonen müssen heute anders gedeutet werden, als Suess noch geglaubt hat.

Wir wollen nun im einzelnen die großen tektonischen Zonen von Europa besprechen und den allgemeinen Bau derselben festlegen, soweit er eben heute erschlossen werden kann. Soviel kann wohl gesagt werden: Wir kommen zu festeren Gesetzen und diese dürften der Wirklichkeit am nächsten kommen und die Erscheinungen noch am einfachsten erklären.

Die Archäiden.

In Europa treten die Archäiden als tektonische Großform nur in der russischen Tafel hervor. Es gibt auch in anderen Teilen von Europa archäische Kerne. Diese sind aber nicht alte erstarrte Tafeln, sondern orogene Teile. Sie finden sich hier wie jedes andere Schichtglied in die orogenen Bewegungen einbezogen. Sie haben also nicht mehr alten Bau, sondern den der orogenen Überfaltung.

Die russische Tafel wurde im Vorhergehenden besprochen. Es kann darum auf das bereits Gesagte verwiesen werden. Es seien nur die Grenzen kurz angegeben: Im Osten der Ural, im Westen das skandinavische Gebirge, im Südwesten die alpine Zone und die Faltungszone der deutschen Mittelgebirge. Offen ist die Tafel im Norden und scheinbar im Südosten, gegen den Kaspisee zu. Hier tritt keine umrahmende Kette zutage. Diese liegt im Norden im Eismeer, im Süden unter der jungen Sedimenthülle begraben.

Dies sind zugleich auch die morphologischen Grenzen. Die tektonischen Grenzen treten in aller Schärfe in den Überschiebungen der orogenen Zone auf das russische Tafelgebiet in Skandinavien und in der alpinen Zone hervor, nicht dagegen im Ural, nicht in den deutschen Mittelgebirgen. Aber auch hier findet sich von Belgien, vom Harz bis nach Osten, in die Sudeten hinein, eine alte allgemeine Bewegung gegen Norden.

Digitized by Google

Das allgemeine Gesetz der Tektonik der Tafel ist folgendes:

Die Tafel ist vorkambrisch erstarrt. Alle jüngeren Schichten liegen flach, fast ungestört. Die Tafel wird auf große Strecken heute noch von paläozoischen und mesozoisch-tertiären orogenetischen Zonen umflossen. Wo diese deutlich ihren Bau erschließen, geht immer die Bewegung im Orogen auf die russische Tafel.

Dies sind die Tatsachen, die nicht erschüttert werden können. Nirgends ist die Tafel auf die orogenetische Zone aufgeschoben, nirgends geht die Tafel allmählich in das Orogen über. Wo die Grenze vorhanden ist, wo allgemeine Bewegungsrichtungen sichtbar werden, herrscht Überschiebungsbau und scharfe Trennung des Tafellandes und des Orogen.

Die Proteroiden.

Innerhalb der Archäiden lassen sich jüngere Teile abscheiden, die proterozoisch sind. Solche Teile sind in Südschweden aufgedeckt worden, dann in Finnland. Das Streichen der Proteroidenteile in Südschweden ist etwa N—S. In Finnland findet sich allgemein NW—SO-Streichen. Hierher gehören auch die „huronischen Ketten", präkambrische Gebirgsteile, wie man sie in den Ardennen, in der Bretagne und anderen Orten inmitten der paläozoischen Ketten angenommen hat. Sie sind keine selbständigen Zonen, sondern offenbar nur ältere Teile in den Paläoiden.

Die Paläoiden.

Hierher gehören also alle im Paläozoikum erstarrten Teile, also die Kaledoniden, die varistischen, die herzynischen, die armorikanischen Gebirgsteile. Penck hat für die Gesamtheit dieser Ketten auch die Bezeichnung „paläozoische Hochalpen" gebraucht. Suess hat die Gesamtheit der im jüngeren Paläozoikum entstandenen Ketten als Altaiden bezeichnet.

Die paläiden Glieder in Europa sind:

Die Kaledoniden in Skandinavien. Sie sind in der letzten Zeit genau bekannt geworden und es hat sich allgemein gezeigt, daß man es hier mit einem alten paläozoischen Gebirge mit typischem Deckenbau zu tun hat. Die einseitige Bewegung nach Osten auf das Vorland, im Sinne des Orogengesetzes, ist auf der ganzen Linie vom Süden der Halbinsel bis nach Lappland erkannt. Eine Reihe von Schollen sind unterschieden worden. Die Überschiebungen reichen bis in das Innere des Gebirges. Dann folgt mehr ein faltiger Wurzellandbau. (Siehe Profil 10, Seite 65.) Die Bewegungen sind aber nicht vordevonisch, wie Suess noch glaubte. Es läßt sich nur sagen, daß die Gebirgs-

Digitized by Google

bildung paläozoischen Alters ist. Devon ist in jüngster Zeit erst gefunden worden und nimmt noch am Baue des Gebirges teil.

Aus diesen Tatsachen ergibt sich, daß die Kaledoniden aus einem Orogen stammen, das die russische Tafel im Westen begrenzt. Von diesem Bogen ist zurzeit in Skandinavien jener Ast neu belebt worden, der auf die russische Tafel bewegt ist. Diesen Stamm nennen wir den russischen Stamm.

Dieser russische Stamm läßt sich also auf Skandinavien vom Nordkap bis Bergen im Süden verfolgen. Im Norden geht er mit einer Riasküste am Meere aus. Seine Fortsetzung liegt im Eismeer. Anders ist es im Süden, auch hier bricht der Stamm mit einer Riasküste ab. Aber in Deutschland erkennen wir wieder in den nordbewegten alten paläozoischen Ketten den russischen Stamm.

Nach dem Orogengesetz hatten wir auch einen nach Westen bewegten Stamm im skandinavischen paläozoischen Orogen anzunehmen. Der ist in Skandinavien nicht bekannt. Er ist wahrscheinlich versunken. Aber daß er vorhanden war, sehen wir in Schottland.

Die Kaledoniden treten auf den britischen Inseln insbesonders im Norden, in Schottland, wieder in aller Schärfe, mit allen Merkmalen des orogenen Baues hervor. Auch hier ist in den letzten Jahren die Erkenntnis der Genetik des Gebirges weit vorgeschritten. An Tatsächlichem läßt sich folgendes über dieses Gebirge sagen.

Das Gebirge zeigt typischen Deckenbau. Die großen Überschiebungsschollen zerfallen in kleinere Grundschollen. Die Bewegung ist in klarer Weise nach Westen gerichtet. Als Vorland erscheinen die Hebriden. Die Bewegungen sind vordevonisch. Das Devon liegt in der Fazies des Old Red transgressiv auf den Falten des Gebirges.

Dies wären die großen allgemeinen Züge, die für uns von Interesse sind und die vor allem wieder die festen Grundlagen bilden.

Wie haben wir die Züge zu verstehen? Die Bewegung gegen Westen hat so viel Unverständliches an sich gehabt, weil sie der skandinavischen doch gerade entgegengesetzt ist. Für die Lehre vom einseitigen Schub der Gebirge war diese Tatsache auch eine gewisse Schwierigkeit. Doch die Bewegung nach Westen besteht. Sie ist der Gegenflügel zur Ostbewegung auf Skandinavien. Sie ist der zweite Stamm des kaledoniden Orogen. Sie ist im Sinne des Orogengesetzes vollständig verständlich, gesetzmäßig. Wenn sie nicht vorhanden wäre, müßte sie supponiert werden.

Die Bewegung ist vordevonisch, also ein älterer Bau im kaledoniden Orogen. Vielleicht liegt im schottischen Gebirge nur ein Teil älteren Baues vor, während andere Teile jüngeren Bau haben. Etwas Ähnliches haben wir im alpinen Orogen schon kennen gelernt. In den Alpiden werden die Karpathen, die Ostalpen z. T. als vorgosauische Bauten an-

Digitized by Google

gesehen. Dies gilt im besonderen für die älteren inneren Teile der Ostalpen. So für das Gebiet der Muralpen, wo die Gosau z. B. in der Kainach flach, fast ungestört, auf gefaltetem Untergrunde liegt. Auch hier täuschen diese Zonen einen alten Bau vor. Wäre von den Alpen der größere Teil versenkt, würde nur der Teil der Muralpen vorhanden sein, so würde man ganz falsche Vorstellungen vom Bau der alpinen Region erhalten. Ähnliche Verhältnisse mögen in Schottland vorliegen. Der Vergleich mit den Alpen mahnt jedenfalls zur Vorsicht.

Die westbewegten Kaledoniden in Schottland streichen gegen SW im allgemeinen fort und brechen mit einer Riasküste im Meere ab. Wo liegt die Fortsetzung? Sicher ist, daß die Westbewegung in Schottland eine regionale ist und wir vermuten eine Stammbewegung. Dieser Stamm ist gegen den Atlantik bewegt und seine Fortsetzung kann nur ein Gebirge sein, das ebenfalls westbewegt ist. Wo ist dieses? Unserer Meinung nach ist die Fortsetzung der Kaledoniden Schottlands in Nordamerika zu suchen, und zwar in den Appalachen. Diese sind in jüngster Zeit von Termier als Kaledoniden gedeutet worden und in direkten Zusammenhang mit Schottland und mit Skandinavien gebracht worden. Ganz unabhängig von der Termierschen Anschauung, die wir hier als Stütze für die unsere anführen, bringt uns das Orogengesetz zu derselben Vorstellung. Wenn die Kaledoniden Schottlands versinken und in Neufundland ein Gebirge mit derselben Bewegungstendenz einsetzt, so kann dieses Gebirge, eben die Appalachen, als die Fortsetzung angesehen werden. Diese Kaledoniden in Amerika, in Schottland sind ein Stamm mit einem gemeinsamen Vorlande, mit einer gemeinsamen Bewegungsrichtung. Das Vorland ist der kanadische Schild, Nordamerika, Grönland. Vielleicht gehören die Hebriden in Europa noch dazu. Auf das Vorland ist ein Paläidenstamm gleichmäßig hinbewegt. Diesen Stamm nennen wir den kanadischen Stamm. Die Kaledoniden in Schottland sind ein Stück dieses kanadischen Stammes in Europa. Dieser Stamm ist auf Skandinavien versenkt.

So wird das Kaledoniden-Orogen in Schottland, in Skandinavien zu einer Einheit mit dem Orogen in Nordamerika und wir kommen hier zu einer anderen Verbindung der paläozoischen Gebirgszonen von Europa mit Amerika, als Suess angenommen hat.

Wir wollen uns nun der Besprechung dieser Verhältnisse zuwenden und gehen in das südliche England und Irland. Die paläozoischen Ketten in Cornwales und Wales zeigen einen einheitlichen Bau insoferne, als sie stratigraphisch-faziell und tektonisch eine Einheit bilden, die dem armorikanischen Bogen zugehört. Dieser umfaßt noch die paläozoischen Gebirge in Nordfrankreich und Belgien und streicht mit allgemeiner Westtendenz vom Kontinent über den Kanal und setzt durch Südengland und Irland fort. Es ist ein und dasselbe

Digitized by Google

Gebirge auf der ganzen Strecke, das stellenweise nicht belebt, von der jüngeren Sedimentdecke überdeckt wird. Wo es aber sichtbar wird, im belgischen Kohlenrevier, in Südwales tritt es immer mit Bewegung nach Norden hervor. Dies ist am Kontinent in vollster Klarheit erkannt worden. Hier ist auch frühzeitig der Deckenbau des Gebirges erschlossen worden.

Der armorikanische Bogen ist jünger als die Kaledoniden und das Verhältnis der Armorikaniden zu den Kaledoniden ist immer so gedeutet worden (Suess, De Launay), daß die Kaledoniden mit SW—NO-Streichen unter das fast W—O-streichende armorikanische Gebirge untertauchen. Eine scharfe tektonische Diskordanz trennt die beiden Gebirgssysteme. Die Kaledoniden tauchen nach dieser Anschauung unter die Armorikaniden unter, diese gehen also unbehindert nach Westen weiter, brechen an der Küste ab. Ihre Fortsetzung sind die Appalachen.

Dies ist die Anschauung von Suess (M. Bertrand), die auch allgemein in die Lehrbücher übergegangen ist. Wir haben oben bereits die Kaledoniden der Appalachenregion als Stamm erkannt, der in den Kaledoniden in Schottland seine Fortsetzung hat, und zwar unter Verhältnissen, die mit der großen Orogentektonik so sehr übereinstimmen, daß wir an der Richtigkeit dieser Verbindung festhalten wollen und für den Süden eben, den armorikanischen Bogen, eine andere Lösung versuchen müssen.

Diese scharfe Diskordanz der beiden Gebirgsstücke im südlichen Teile Englands entspricht nicht den Tatsachen. Wenn wir den Bau im allgemeinen im Norden und Süden der supponierten Grenzlinie vergleichen, so finden wir im großen und ganzen denselben Bauplan. Vor allem sind die stratigraphisch-faziellen Verhältnisse fast die gleichen. Der ganze Aufbau von Wales ist derselbe wie etwa im Süden an der Küste. Das Streichen der als kaledonischen Kette bezeichneten Gebirgszüge steht gar nicht senkrecht auf dem armorikanischen Bogen. Um den Golf von Bristol stoßen die beiden Streichrichtungen in einem Winkel zusammen, ganz ähnlich etwa, wie sich die Ketten des Indus mit denen des Himalaya im spitzen Winkel miteinander verbinden. Vom Golf von Bristol weiter nach Norden hinauf finden wir die Kohlenfelder in den Gebirgsbau miteinbezogen. Der Bau ist gar nicht vordevonisch, d. i. im strengen Sinne kaledonisch. Es ist der Bau des armorikanischen Bogens. Die Kohlenfelder von Belgien haben eine viel nähere Verwandtschaft mit denen der östlichen Ketten aus dem mittleren England als mit den Appalachen.

Es liegt nicht im Rahmen dieser Arbeit, alle diese Verhältnisse aufzuklären. Unsere Aufgabe ist es, auf die Möglichkeit einer Verbindung in folgendem Sinne hinzuweisen.

Digitized by Google

Die Kaledoniden von Schottland verbinden sich mit den Armorikaniden zu einem Orogen. Es sind Gebirgsketten, die sich im Golf von Bristol scharen. Die Fortsetzung der vom Kontinent übersetzenden Gebirgszüge geht nicht in die Appalachen, sondern in das Gebirge des mittleren England. Dort finden wir Kohlenfelder und diese sind die Fortsetzung der kontinentalen. Sie liegen im allgemeinen am Außensaume.

Wenn diese Verbindung richtig ist, dann haben wir vor allem die Stammtektonik zu erkennen. Die Nordbewegung des armorikanischen Bogens in Belgien usw. ist die gesetzmäßige Orogenbewegung. Sie geht auf das Vorland. Dieses liegt unter der jungen Sedimenthülle vergraben. Das Vorland ist der westlichste Ausläufer der russischen Tafel.

Der Stamm, der uns in den Armorikaniden in Nordfrankreich, in Belgien erscheint, ist ein Teil des die russische Tafel umsäumenden russischen Stammes, den wir auf Skandinavien so klar erkannt haben.

Das belgische Kohlengebirge und die Kaledoniden in Skandinavien, so ungleich sie zu sein scheinen, sind Teile eines und desselben Stammes. Sie müssen miteinander verbunden werden. Die Verbindung kann nur in England liegen. Die Scharung im Golf von Bristol ist unserer Meinung nach die Zone, wo die beiden Gebirgsstämme sich miteinander verbinden. Die Verbindung ist eine Scharung in sehr spitzem Winkel.

Ist diese Verbindung richtig, so wäre in Mittelengland, zumindestens in den östlichen Gebirgszonen, Bewegung nach Osten zu erwarten. Es scheint bisher unmöglich, in dieser Richtung Aufschluß zu geben. Es ist N—S-streichendes Gebirge vorhanden. Bewegungen nach Westen werden gemeldet. Um diese Fragen zu entscheiden, wäre eine neue tektonische Analyse des ganzen Gebietes notwendig.

Wir verfolgen nun vorläufig den russischen Stamm der Paläiden durch Deutschland nach Osten. Soweit neuere Aufnahmen vorliegen, ist Deckenbau allenthalben gemeldet worden, so vom rheinischen Schiefergebirge, aus dem Dillenburgischen, aus dem Fichtelgebirge, vor allem aber aus der Ostregion, aus dem mährisch-sudetischen Gebiet. Hier treffen wir auf den großartigen Deckenbau der Paläiden auf der ganzen Strecke von Friedeberg in Schlesien bis nach Krems an der Donau (F. E. Suess).

Im rheinischen Schiefergebirge ist das Gebirge nordbewegt. Diese Bewegung geht durch alle alten Gebirge des nördlichen Deutschland. Im Osten des böhmischen Massivs finden wir wahrscheinlich Ostbewegung, da sich das ganze Orogen nach Süden wendet. Immer aber ist es die Bewegung auf das Vorland, auf die russische Tafel.

Diese allgemeine Bewegungsrichtung, als Stammbewegung des Orogen, besteht. Von dieser großen regionalen Bewegung ist die junge

Digitized by Google

Schollentektonik zu scheiden. Sie erzeugt keine gesetzmäßige Bewegung in den Schollen. Wir sehen, daß diese im Harz nach Norden geht, in der Lausitzer Überschiebung nach Süden. Diese Tektonik ist die lokale Überquellungstektonik der gehobenen Schollen über die tieferliegenden.

Die ganze Anlage der Horste folgt den großen orogenen Linien, d. i. der Richtung NW—SO. Das ist die allgemeine Streichrichtung des paläiden Orogen in Deutschland.

Wir können hier anfügen, daß die Neubelebung des Orogen alte Linien wieder erweckt. Horste werden dabei herausgehoben. Zwischen diesen liegen Mulden von Sedimenten (Trias-Juratafeln). Diese werden im Rahmen der Paläiden-Horste zusammengedrückt. Mesozoische Faltungszonen bilden sich so innerhalb der paläiden Backen. So entsteht die mitteldeutsche Rahmenfaltung (Stille). Sie reicht weiter zurück in das Mesozoikum, saxonische Faltung. Diese Faltung ist typische Rahmenfaltung und hat mit den großen Überfaltungen der Geosynklinale genetisch nichts zu tun. Diese Rahmenfaltung ist eine untergeordnete epikontinentale Dislokation. Sie läßt sich noch mit derselben Streichrichtung im Becken von London erkennen.

Was nun die paläiden Bauten in Süddeutschland und in Frankreich anbelangt, so ist aus dem Zentralplateau typischer Deckenbau bekannt geworden und auch in den Ardennen, im Schwarzwald und Vogesen hat man Deckenbau zu erkennen geglaubt. Hier sind die Studien noch nicht weit vorgeschritten. Hier sollen übrigens mehr O—W-Bewegungen vorhanden sein. Als Alter dieser Deckenbauten wird z. B. für die Vogesen von Termier postdinantien und antestephanien angegeben.

Was die allgemeinen Leitlinien hier anbelangt, so wird eine Scharung angenommen. Die von Westen z. B. aus der Bretagne kommenden Züge scharen sich mit den von Osten kommenden. Aber nähere Leitlinien des Aufbaues sind noch nicht bekannt.

Wir haben es hier mit einer Vereinigungsstelle, wahrscheinlich mit einem Zusammenlaufen mehrerer Orogene zu einem Körper zu tun, ähnlich etwa wie auf den Sunda-Inseln drei Orogene gleichsam sich vereinigen: Das himalayanische, das japanische und das neuseeländische (australische). Wir können auch sagen, vom Sunda-Archipel strömen nach W, nach N, nach O Orogene aus. Vielleicht ist für das Paläozoikum für das mittlere Europa ähnliches anzunehmen. Ein Orogen geht nach NW, das armorikanische. Es sind die Ketten von England. Ein Orogen geht nach Süden. Es erscheint heute in der spanischen Meseta. Das dritte Orogen zieht nach Osten. Es ist das alpine. So können im Knotenpunkt dann recht komplizierte tektonische Verhältnisse entstehen, deren Aufhellung bis zu einem gewissen Grade ein sorgfältiges Studium bringen kann.

Digitized by Google

Zu den Paläiden gehört noch das paläozoische Gebirge der iberischen Halbinsel und dann der Ural. Über das erstere können wir nur sagen, daß alte Linien nord-südliches Orogen-Streichen anzeigen. Stammtektonik ist noch nicht erkennbar. Im Ural liegen die Verhältnisse so, daß der Westabhang wahrscheinlich, wie schon früher auseinander gesetzt wurde, Deckentektonik bringen wird, und zwar mit Westbewegung, also auf die russische Tafel. In diesem Falle wird dieser Teil des Ural als russischer Stamm anzusprechen sein. Von diesem russischen Stamme haben wir also Teilstücke in den Ostbewegungen in Skandinavien, in den Nordbewegungen der Armorikaniden, der herzynischen Teile kennen gelernt. Diesen würde sich also der Westteil des Ural angliedern. So wird die Tafel vom Paläiden-Orogen sogar heute noch überflossen. Freilich große Teile dieses Stammes sind nicht sichtbar.

Die Mesoiden.

Wir können uns hier kurz fassen, nachdem die Mesoiden in Europa bereits im Kapitel der orogenetischen Zonen eingehender besprochen worden sind. Wir haben im mediterranen Orogen Europas zwei Stämme unterschieden, den dinarischen Stamm und den der Alpiden. Der erstere ist primär südbewegt, der letztere immer nach Norden. Das Vorland für den südlichen Stamm ist immer Afrika, das Vorland für die Alpiden Europa. Wir haben ferner den dinarischen Stamm als einen Teil des afrikanischen Stammes kennen gelernt, und den Alpidenstamm als Teil des eurasiatischen. Das alpine Orogen des Mittelmeeres erscheint als ein Orogen, das zwischen den starren Massen im Norden (Europa) und denen des Südens (Afrika) ausgepreßt worden ist. Durch die Auspressung der alpinen Geosynklinale ist Afrika mit Europa zu einer Einheit verschmolzen, die oberflächlich durch die jungen Einbrüche des heutigen Mittelmeeres unterbrochen ist.

Das alpine Orogen ist jedenfalls sehr kompliziert gebaut. Das Orogen verläuft nicht geradlinig, sondern ist in sich gewunden. Die Stämme durchdringen sich förmlich. Der dinarische Stamm zeigt eine tiefe Einbuchtung in der Adria, und so scheidet sich eine westliche Hälfte, den Atlas und den Apennin umfassend, von einer östlichen, dem dinarisch-taurischen Bogen. Jeder dieser Bogen ist als eine Einheit aufgefaßt worden. So ist die Verbindung vom Atlas zum Apennin zweifellos. Auch die Verbindung der Dinariden mit den Tauriden kann trotz des Einspruches von Frech als gesichert gelten. Anders steht es mit der Verbindung der östlichen und westlichen Bogenhälften: Die Verbindung der Dinariden mit dem Apennin. Doch auch hier dürfte sich mit der Zeit die Erkenntnis ihrer Zusammengehörigkeit festigen.

Digitized by Google

Die Alpiden umfassen: Die betische Kordillere, die Pyrenäen, die Alpen, die Karpathen, den Balkan (den Kaukasus). Sekundäre Südbewegung finden wir in den Pyrenäen, in den transsylvanischen Alpen. Die sekundären Bewegungen wurden ebenfalls bei Besprechung des mediterranen Orogen näher charakterisiert.

Was nun die allgemeine Orogentektonik anbelangt, so finden wir die paläiden Orogene in der Region des Mittelmeeres auf weite Strecken mit dem der Mesoiden zusammenfallen. In der östlichen Hälfte des Mittelmeergebietes fallen die Mesoiden mit den Paläiden direkt zusammen. Sie decken sich. Im westlichen Gebiet liegen in der spanischen Meseta die Paläiden außerhalb der Mesoiden. Hier wurden sie zum Vorland. Ganz außerhalb der Mesoiden liegen die Paläiden im übrigen Europa.

Die zonare Wanderung der Gebirgsbildung, die Verschiebung der orogenetischen Zonen, ihre endgültige Erstarrung andererseits, direktes Fortleben in gewissen Zonen, sind an der Verteilung der Paläiden und der Mesoiden klar zu erkennen.

So lassen sich in Europa sicher und mit vollster Klarheit zwei orogenetische Zonen verfolgen. Die Orogentektonik und Genetik ist zweifellos eine gesetzmäßige seit alter Zeit. Die Orogene repräsentieren immer plastische passive Zonen, die zwischen erstarrten Schollen entstehen, indem die Geosynklinale wie zwischen Backen eines Schraubstockes ausgepreßt wird. Die Sedimente werden im Orogenentrog zusammengepreßt und fließen über den Rand über. Dieses Überfließen erzeugt die Randketten, die Stämme des Orogen. Diese sind daher immer über ihr vorliegendes Vorland hinweg bewegt. Diese Bewegung kann durch die Bogentektonik der Stämme sekundär modifiziert werden. Auch stauende Hindernisse im Orogen erzeugen sekundäre Bewegungen. Nicht alle Teile der Geosynklinale scheinen im gleichen Maße der großen Orogenbewegung zu verfallen. So entstehen die verengten und die erweiterten Typen des Orogen. Wo die Auspressung besonders intensiv ist, stehen die beiden Stämme fast unmittelbar mit den Wurzelzonen aneinander, die Wurzeln verschmelzen und werden zu einer Narbe. Dann wieder schalten sich zwischen die Stämme breite trennende Felder, Zwischengebirge, ein, in denen wahrscheinlich die Zusammenpressung keine so intensive ist. Dort könnten sich alte Baupläne in Form relativ autochthoner Schollen erhalten.

Nicht alle Teile der Orogene sind gleichzeitig erstarrt. Teile der Stämme sind ungleichaltrig. Die Stämme selbst können wieder zueinander ungleichaltrig sein. Die Herausbildung des Orogen aus der Geosynklinale ist ein langer, fortwährender Prozeß, in dem Phasen mehr ruhiger und Phasen paroxystischer Gebirgsbildung offen-

Digitized by Google

bar wechseln. Die Herausbildung des Orogen ist eine kontinuierliche und die natürliche Folge der Erstarrung des Planeten.

Wir finden nirgends in Europa eine Bewegungsrichtung vorherrschend. Es gibt alle Bewegungsrichtungen in den Orogenen. Es gibt keine vorherrschende Nordrichtung seit alter Zeit in Europa. Trotzdem sind alle Bewegungsrichtungen gesetzmäßig und durch das Orogengesetz bestimmt.

Asien.

Der geologisch-tektonische Aufbau der asiatischen Kontinentalscholle ist im Vergleich zu Europa noch recht wenig bekannt und dazu viel komplizierter gebaut, soweit sich dies heute erkennen läßt. Es ist darum nicht verwunderlich, wenn hier noch rechtes Dunkel herrscht und die widersprechendsten Ansichten über die großen Züge des Aufbaues des Kontinentes geäußert werden.

Suess verdanken wir eine großzügige Analyse des Aufbaues von Asien. Suess' Vorstellungen gehen dahin, daß die Hauptbewegung in Asien nach Süden, also nach außen geht. Eine mächtige faltengebärende Kraft geht vom Innern des Kontinentes, vom alten Scheitel aus. Hier werden in alter Zeit die ersten Gebirge emporgetrieben. Neue Ketten schließen nach außen an: Die Altaiden. Wieder wandert die Gebirgsbildung weiter nach Süden und außen: Die jungen Hochgebirge entstehen. Und heute noch ist keine Grenze dieser faltengebärenden Kraft gegen den Ozean zu sehen. Tiefe Gräben umfurchen den Kontinent. Diese können wohl als die Grenze der Kontinentalscholle gegen den Ozean betrachtet werden, aber sie scheinen keine Grenze für die nach außen seit alter Zeit vordringenden Faltenwellen zu sein.

Diese Auffassung des Baues von Asien entspricht prinzipiell der Genetik, die Suess Europa zuschreibt. Europa und Asien verschmelzen nach Suess zu einer Einheit, zu Eurasien. Auch diese wird, wie sich später zeigen wird, als den Verhältnissen vollkommen entsprechend beibehalten.

Ein ganz anderes genetisches Prinzip liegt in den Erklärungsversuchen, die Richthofen und im Anschluß daran Frech, Volz und andere über den Bau, besonders der östlichen Umrahmung von Asien, gegeben haben. Suess betont als genetisches Moment den Zusammenschub, während in den Erklärungsversuchen von Richthofen gerade das Gegenteil, die Zerrung der Kontinentalscholle in den Ozean hinab als Agens hingestellt wird. Dies sind die beiden entgegengesetzten Erklärungsversuche. Nach dem zweiten wird ein Moment hineingebracht, das bei der geographischen Betrachtung wohl als möglich

Digitized by Google

erscheint, doch bei näherer tektonischer Analyse sich als nicht zutreffend herausstellt. Der Bau von Asien hat prinzipiell dieselbe Genetik wie der Europas. Auch hier ist der Zusammenschub das treibende Agens. Dies soll hier gezeigt werden. Die Unmöglichkeit der Auffassung von Richthofen ist von Lorenz bereits dargetan worden.

Der Aufbau Asiens zeigt drei Archäidenteile, nämlich die sibirische Tafel, die sinische Masse, dann die indische Tafel. An Paläiden haben wir ein weites zentralasiatisches Orogen, das wir hier das altaische (mongolische) nennen wollen, dann das des Nanschansystems. Die Mesoiden bilden die junge Kettengebirgsregion der Umrahmung im Süden und im Osten. Der äußerste Nordosten, das Anadyrland, ist noch zu wenig bekannt, als daß eine sichere Erkennung des Bauplanes möglich wäre. Der Aufbau ist demnach komplizierter als in Europa.

Die Archäiden.

Hieher gehört vor allem die sibirische Tafel. Ihre Charakterzüge sind im vorhergehenden Kapitel eingehender dargestellt worden. Suess hat in großen Zügen eine vollständig zutreffende Beschreibung dieses Gebietes gegeben.

Abgrenzung. Im Westen bildet die Grenze der Ural im allgemeinen. Die genauere Orogengrenze ist nicht bekannt. Sicher ist, daß die uralischen Falten unter den jungen Bedeckungen weit unter der Ebene bis an die linken Zuflüsse des Ob sich fortsetzen. Auf der Ostseite des Ural ist an einigen Stellen (um Jekaterinenburg) Bewegung nach Osten bekannt. In diesen Bewegungen hätten wir die ersten Anzeichen des auf die sibirische Tafel bewegten Teiles des uralischen Orogen (sibirischer Stamm). Die Grenze der Tafel gegen den Ural ist morphologisch wenig markiert. Allmählich geht der Ural in die Ebene über. Im Norden ist die Abgrenzung der Tafel recht unsicher noch. Suess glaubte, daß sie bis an das nördliche Eismeer reicht. Dies scheint aber im nördlichsten Teil von Asien, auf der Taimyr-Halbinsel, nicht der Fall zu sein. Möglicherweise liegt in dem SW—NO streichenden Gebirge ein paläozoisches Faltenland vor, die Fortsetzung des uralischen Orogen nach Osten. Längs der Lena können wir bis Jakutsk den Werchojanischen Bogen als die Tafelgrenze betrachten. Weiter nach Süden hin wird die Grenze unsicher. Nach Suess soll die Tafel weit nach Osten reichen, bis nach Nelkan, also fast bis an die Grenze des Ochotskischen Meeres. Noch im Flußgebiete des Seja beschreiben die russischen Geologen in neueren Aufnahmen NW bis SO streichendes altes Gebirge auf weite Strecken. Im Süden bildet jedenfalls der sajanische Bogen eine Grenze im weitesten Sinne. Diese Ketten bilden nach Suess den alten Scheitel, der das Amphitheater

Digitized by Google

von Irkutsk umschließt. Dieses ist der südliche Rand der sibirischen Tafel. Gegen Westen sind die Verhältnisse recht unklar. Sicher ist, daß durch die Pforte von Turgai der sibirische Bauplan weit nach Südwesten in die kirgisische Steppe fortsetzt.

So bildet die sibirische Tafel einen Großteil Nordasiens, eine weite Ebene, mit einfachem alten Bau. Dieser ist in seinem Prinzip vollständig erkannt. Im einzelnen werden sich noch viele wichtige Aufschlüsse über den feineren Aufbau, besonders des Grundgebirges ergeben, insbesondere wird noch die Herausarbeitung der proterozoischen Elemente im Grundgebirge eine wichtige Aufgabe werden. Daß aber in der sibirischen Tafel tatsächlich ein Stück alte erstarrte Scholle vorliegt, kann nicht bezweifelt werden.

Die weiteren archäischen Massen in Asien sind: Die indische Tafel, hauptsächlich Nordindien umfassend. Die Grenzen im Westen bilden die Induskettten. Im Norden sind die Ketten des Himalaya die schärfste tektonische Scheide, ebenso im Osten die birmanischen Ketten. So bilden nur Mesoiden die heute noch sichtbare Umrahmung der Tafel. In allen diesen Gebirgen geht immer die Bewegung auf die Tafel, und zwar in den Ketten des Indus nach Osten, im Himalaya nach Süden, in Birma nach Westen. Alle diese in fast rechtem Winkel sich scharenden Ketten sind Teile eines Orogen, eines Stammes, der immer auf Indien, bezw. auf Australien bewegt ist. Es ist, wie wir schon früher dargetan haben, der indo-australische Stamm des alpinen Orogen.

Die sinische Masse tritt als Kern eines großen erstarrten Gebietes im SO des asiatischen Kontinentes auf, von Tonking bis über Peking im Norden reichend. Im Westen gehört sicher noch das Plateau von Ordos (am Knie des Hoangho) hieher. Die alte Masse ist als solche vollständig sicher erkannt. Hier hat F. v. Richthofen die Grundlinien des Baues erforscht. Aber die Abgrenzung der Masse im ganzen ist noch recht unsicher. Korea gehört offenbar noch dazu. Wie weit aber die sinische Masse nach Norden, nach Westen reicht, ist unbekannt. Ist der große Chingan die Grenze? Ist das Becken des Tarim noch ein Teil der sinischen Masse? Wie ist die Grenze gegen den Tsinlingschan? Auch die Rolle der alten Massen von Tonking, von Anam ist unklar. Scharf dagegen ist die Grenze gegen die jungen Ketten von Jünnan.

Die sinische Masse ist parallel der Küste, parallel den jungen Ketten am Außensaume in NO—NW streichende Schollen (Schollen-Horstgebirge) zerlegt. Die Dislokationen sind junge. Es sind hauptsächlich radiale Dislokationen, wenngleich auch in neuester Zeit (B. Willis) Überschiebungen aufgezeigt werden konnten. Aber diese Deformationen der alten Tafel, der alten Peneplain, hängen nicht mit dem alten Bau zusammen. Dieser zeigt nach Lorenz Streichen

Digitized by Google

von NW—SO in den alten Gneisen (ähnlich wie an der Seja). Die Dislokationen der sinischen Masse sind von F. v. Richthofen als große Staffelbrüche gedeutet worden. Dies trifft in der Tat auch zu. Nicht gilt dies aber für die Erklärung dieser Erscheinung, die Richthofen im allgemeinen als große Zerrungen (Zerrungsbögen n. Frech) auffaßt. Lorenz hat, wie erwähnt, sich schon mit vollem Rechte gegen diese Deutung ausgesprochen. Wir werden später noch Gelegenheit haben, auf dieses Phänomen näher einzugehen. Wir können hier nur sagen, daß die Deformationen der sinischen Masse genetisch dieselben sind, wie etwa die Deformationen der sibirischen, der kanadischen Masse. Es sind überall der Hauptsache nach radiale Dislokationen, die überall auf der Erde auf eine Hauptursache zurückgehen, auf den Kampf um den Raum im kontraktiven Felde.

Möglicherweise gehört noch, ganz im Nordosten, ein Teil vielleicht der Tschutschkenhalbinsel einem alten erstarrten Massive an, das im Arktik größere Ausdehnung hatte. Dies aber ist ganz unsicher und wir wollen uns mit der Feststellung der drei großen alten Tafelgebiete in Asien begnügen.

Die Proteroiden.

Solche Teile sind zweifellos vorhanden, und zwar entweder mehr inmitten der alten Tafeln oder an der Grenze gegen die Paläoiden. Es lassen sich nur Vermutungen diesbezüglich äußern. Schon De Launay hat in der Umrahmung des Baikal im Süden solche proterozoische Teile ausgeschieden. Wahrscheinlich sind solche Gebiete im Tsinlingschan vorhanden. Am ehesten werden noch proterozoische Teile um den Baikal vermutet werden können, im alten Scheitel, mit einer Fortsetzung gegen Westen an den Jenissei.

Die Paläoiden.

Hierher gehören also die großen Schollengebirge Zentralasiens, die mit dem Altai im Norden beginnen und im Süden bis an das System des Tianschan reichen. Im Osten gehört unserer Auffassung nach noch das Nanschan-System dazu mit seiner östlichen Fortsetzung (Tsinlingschan?). Diese paläozoischen Ketten wurden von E. Suess als Altaiden zusammengefaßt.

Es sind große Gebiete der Erde, die morphologisch scharf hervortreten. Sie sind von russischen Forschern und von anderen besonders in der letzten Zeit eingehender durchforscht worden. Aber es gibt kein Gebiet der Erde mehr, daß so mannigfaltig beurteilt wird, als gerade dieses. Es ist doch noch wenig bekannt, und so ist es verständlich, daß so mannigfaltige Vorstellungen über den Bau dieser

Digitized by Google

Gebiete existieren, obwohl bis zu einem gewissen Grade die Grundzüge der Genetik dieser Gebirge von russischen Forschern schon früh erkannt worden sind. Diese Genetik gipfelt in der Vorstellung, daß in diesen Räumen, auf ehemaligen paläozoischen Faltengebirgen, die Erdrinde relativ jung in Form disjunktiver Dislokation deformiert worden ist. So sind die Schollengebirge mit den dazwischen liegenden Becken entstanden.

Freilich, im einzelnen ist der Bau wieder viel komplizierter. So ergeben sich mannigfaltige Bilder und diese führen wieder zu verschiedenen Anschauungen.

So hat man geglaubt, daß der Bau von Asien ein ganz anderer wäre, als der von Europa. Die Scheidung der jungen Ketten und der alten paläozoischen Alpen wurde nicht so scharf durchgeführt, Vorland und Orogene wurden nicht auseinandergehalten. Die alte und die junge Dislokation wurde nicht getrennt. Morphologische und tektonische Züge verwechselt. Und so kam es zu mannigfaltigen Anschauungen über den Bau des asiatischen Kontinentes.

Wenn wir die Verhältnisse richtig beurteilen wollen, müssen wir uns die europäischen Verhältnisse vor Augen halten. Wir konnten so deutlich Paläoiden und Mesoiden in Europa scheiden. Dieselbe Scheidung haben wir in Asien durchzuführen.

Paläoiden sind die zentralasiatischen Schollengebirge, die Altaiden im Sinne von E. Suess. Sie sind die Äquivalente der herzynischen, der variszischen, der armorikanischen Alpen in Europa. Wie diese, sind vielleicht auch die verschiedenen Gebirge Zentralasiens nicht gleichzeitig entstanden. So wird für einzelne Gebirge vordevonisches Alter angegeben, für andere wieder karbonisches. Mögen diese Angaben richtig sein, so ist doch bei der geringen Kenntnis dieser Gebirge ein endgültiges Urteil noch nicht am Platze.

Die Paläoiden Zentralasiens gehören einem Orogen an, das in ungefähr W—O-Richtung durch Zentralasien zieht, ungefähr die Mongolei einnehmend. Dieses Orogen ist etwa auf der Strecke vom Balkasch-See bis an den Amur jung belebt worden. Es ist ein Orogen, das zwischen die sibirische und sinische Masse eingebettet ist. Der nähere Verlauf ist aber unbekannt. Dieses Orogen muß gegen Westen mit dem uralischen in Verbindung gestanden sein. Dieses mongolische oder altaische Orogen ist ein Abkömmling einer paläozoischen Geosynklinale, die im Westen mit der uralischen, im Osten mit der japanischen (pazifischen) in Verbindung stand. Paläozoische geosynklinale Schichten sind aus allen den Gebirgen vom Ob, vom Amur, vom Syr Daria bekannt geworden. Diese paläozoische Geosynklinale der Mongolei ist bisher noch nicht so recht erfaßt worden. Aber sie läßt sich heute schon erkennen und je weiter die Erkenntnis dieser Gebirgszonen fort-

Digitized by Google

schreiten wird, desto schärfer wird der geosynklinale Charakter dieser Gebiete für das Paläozoikum erkannt werden können.

Ist die mongolische Geosynklinale heute noch nicht erkannt, so ist es begreiflich, wenn die Orogentektonik derzeit noch weniger zu erfassen ist. Wenn wir ein O—W laufendes Orogen supponieren, so haben wir einen alten Nord- und einen Südstamm zu trennen. Der erstere war über die sibirische Tafel bewegt, der letztere über das Vorland im Süden, also über die sinische Masse bezw. ihre Fortsetzung gegen Westen (Tarimbecken?). Dann hätten wir im Norden regionale Bewegung nach Norden, also auf die sibirische Tafel (sibirischer Stamm), im Süden aber Bewegung nach Süden zu erwarten. Von dieser alten Orogentektonik (Stammtektonik) ist die jüngere Tektonik zu trennen, die zur Neubelebung orogener Teile geführt hat. Diese ist es hauptsächlich, die heute die Morphologie Innerasiens bestimmt, die die junge disjunktive Tektonik ausmacht. Und diese Tektonik ist es wieder, die der Hauptsache nach erkannt ist. Nicht erkannt aber ist die alte Orogentektonik, d. i. der alte paläozoische Aufbau. Es sind erst die Anfänge dazu da.

Die Schichtensysteme der mongolischen Geosynklynale im zentralasiatischen Gebiet.

Älteres Paläozoikum (vorkarbonisch) nach Leuchs.

Große Mächtigkeit und weite Verbreitung besitzen in ganz Zentralasien Gesteine, welche im einzelnen sehr verschiedenartig ausgebildet sind, im ganzen aber doch ihre vorwiegende Zusammensetzung aus Schiefern verschiedener Art erkennen lassen. Sie sind häufig in kristalline Schiefer, Phyllite umgewandelt, an anderen Stellen ist die ursprüngliche Ausbildung als Ton-, Kalk-, Kiesel-, Quarzit-Schiefer erhalten geblieben. Mehr oder weniger mächtige Einschaltungen anderer Gesteine: Kalkgesteine, Quarzite, Sandsteine, Grauwacken, Konglomerate, Brekzien unterbrechen die Einförmigkeit dieser Schiefergesteine.

Das Alter dieser Gesteinsgruppe läßt sich an vielen Orten infolge der diskordanten Überlagerung durch Unterkarbon als vorkarbonisch bestimmen. Dagegen fehlen sichere Anhaltspunkte zur Festlegung der unteren Altersgrenze. Wenn sich auch durch Funde von Versteinerungen an manchen Stellen für einzelne Teile der Gruppe devonisches oder silurisches Alter hat feststellen lassen, und wenn auch aus der petrographischen Übereinstimmung der versteinerungsführenden Schichten mit solchen ohne organische Reste, sowie aus dem Schichtenverband mit großer Wahrscheinlichkeit für die Hauptmasse dieser Gesteine ebenfalls Devon und in geringerem Maße Silur hervorgeht, so steht doch der sichere Beweis noch dafür aus.

Digitized by Google

Jedoch ist — und das sei hier ausdrücklich betont! — kein zwingender Grund vorhanden, die tiefsten Teile der Gruppe etwa als archäisch zu bezeichnen.

Silur.

Im Tianschan, in den Tschu-Ili-Bergen, südlich des Balkasch-Sees steht dunkelgrüner Glimmersandstein mit *Homalonotus* an, Kalksteine bei Min-Aral am Balkasch-See enthalten Korallen, Crinoideen, Brachiopoden und Trilobiten. Es ist Obersilur mit *Clathrodictyon regulare*, *Favosites gotlandica*, *Forbesi*, etc. *Halysites catenularia*, *Pentamerus oblongus* u. a.

Silur ist ferner im Altaigebirge bekannt. Obersilurische Kalke liegen südöstlich von Margelan. Im Serafschangebiet sind silurische Korallen bekannt, desgleichen bei Samarkand.

Devon.

Devonische Ablagerungen sind im allgemeinen zahlreicher. Im Osten des Beckens von Ferghana, bei Osch, finden sich ca. 1000 m mächtige Kalke und Kieselschiefer des Devon mit reichen Faunen. Es ist Unter-, Mittel- und Oberdevon vorhanden.

Nicht weit davon entfernt, am Nordabhange der Alaikette sind unterdevonische Kalksteine (mit Versteinerungen) überlagert von einer 1400 m übersteigenden Folge von Schiefern und Sandsteinen mit eingelagerten Kalksteinen und Diabastuffen. Wenn diese Gesteinsfolge dem Mitteldevon entspricht, dann könnten 1000 m mächtige Kalksteine des westlichen Teiles der Alai-Nordseite, welche unter dem Unterkarbon liegen, dem Oberdevon angehören.

Devon findet sich ferner im Tianschan, und zwar Mittel- und Oberdevon. Ebenso finden sich devonische Ablagerungen hinauf nach Norden bis in den Tarbagatai, während aus dem Gobi-Altai Devon noch nicht bekannt ist.

Weiter im Osten sind auch aus dem Amurgebiet Devonablagerungen bekannt geworden.

Gerade dort finden sich große Massen von Schiefern, Sandsteinen, Konglomeraten mit Eruptivgesteinen, die auf den geologischen Karten dieser Gebiete mit „M", metamorphe Schiefer, bezeichnet werden, und die aller Wahrscheinlichkeit nach eine metamorphe paläozoische Serie repräsentieren.

Karbon.

Unterkarbon.

Mit Sicherheit ist dieses nicht bekannt. Im Karatau des Tianschan liegt eine die gewaltige Mächtigkeit von 3600 m erreichende Schichtfolge von Schiefern, Sandsteinen und Kalksteinen, welchen in den höheren

Digitized by Google

Abteilungen Tuffe eingelagert sind. Diese oberen Abteilungen enthalten eine Fauna des oberen Unterkarbon. Dementsprechend sollen die unteren Abteilungen mit spärlichen Versteinerungen unteres Unterkarbon vertreten. Große Kalkmassen vertreten im Altai das tiefere Unterkarbon. Wahrscheinlich ist, daß das marine Oberdevon in diesen Gebieten in das Unterkarbon übergeht.

Oberes Unterkarbon.

Dieses soll überall in Zentralasien in ursprünglicher Diskordanz, also transgressiv, über den älteren Gesteinen liegen. Doch nicht überall finden sich die typischen transgressiven Elemente. So fehlt z. B. im Tianschan die grobklastische Bildung an der Basis des Unterkarbon an vielen Stellen.

Die Mächtigkeit des Unterkarbon ist sehr verschieden. So wird vom Temurlyktau eine Mächtigkeit von über 600 m angegeben, während an anderen Stellen die Mächtigkeit über 1000 m steigt, ja vom Karatau wird eine Gesamtmächtigkeit von 3600 m! angegeben.

Die petrographische Ausbildung ist im allgemeinen sehr einförmig. Kalksteine verschiedener Färbung, z. T. kieselig oder dolomitisch, setzen in weiten Gebieten, ganz oder größtenteils, die Formation zusammen. Schiefer und Sandsteine haben nur geringe Bedeutung.

Im dsungarischen Alatau sind im westlichen Teil kohlige Bildungen bekannt, die in Oberkarbon übergehen.

Oberkarbon.

Der Übergang von marinem Unterkarbon (durch brakisches Unterkarbon) zu kontinentalem Oberkarbon ist im dsungarischen Alatau bekannt. Schiefer und Sandsteine mit *Asterophyllites charaeformis* vertreten das untere Oberkarbon.

Bei Nürsu (91° ö. L., 44,5° n. B.) ist marines Permokarbon ganz vereinzelt bekannt geworden.

Auf der Nordseite der Alaikette und im Ferghanabecken, westlich Osch, ist ebenfalls marines Oberkarbon vorhanden: im Westen rund 2000 m mächtige Kalksteine wechsellagernd mit Sandsteinen, bei Osch Ton- und Kalkschiefer, Kalksteine, Sandsteine und Konglomerate.

Die mächtigste oberkarbone Schichtfolge ist im südlichen Tianschan bekannt geworden. Es ist eine Schichtfolge, die über 2000 m mächtig wird und aus Schiefertonen, Sandsteinen, Mergelschiefern, Quarziten, Konglomeraten und Fusulinen-Kalken besteht.

Perm.

Marines Perm findet sich in Ostbuchara konkordant über dem Oberkarbon als eine mächtige Folge von tonig-schiefrigen und kalkig-sandigen,

Digitized by Google

mit Tuffen wechsellagernden Schichten mit Fusulinen. Höher oben finden sich Konglomerate, Sandsteine mit Gips und Salz.

Faziesbezirke.

Wir haben hier eine kurze Zusammenstellung der paläozoischen Schichten des zentralasiatischen Gebietes nach Leuchs wiedergegeben. Die großen Mächtigkeitsschwankungen, die mannigfachen Faziesdifferenzierungen fallen dabei besonders auf und rufen uns die europäischen Verhältnisse und Erfahrungen ins Gedächtnis.

Die großen Mächtigkeiten, die in manchen Fällen angegeben werden, sind offenbar keine primären. Sie sind in vielen Fällen tektonische. Erst ein eingehendes Studium kann eine Lösung bringen.

Faziesbezirke sind bisher besonders im Tianschan bekannt geworden. Die Entwicklungen im östlichen und südlichen Tianschan sind andere als im westlichen. Besonders die Umrahmung des Ferghanabeckens im Süden zeigt Verhältnisse, die uns unbedingt zur Annahme einer kalkreichen Fazies und einer kalkig-schiefrigen (kieseligen) Fazies des Paläozoikum führen. Hier werden zweifellos neue Untersuchungen noch große Probleme anschneiden.

Diese wenigen Ausführungen dürften genügen, um zu zeigen, daß im Paläozoikum im Tianschangebiet, dann in dessen Fortsetzung nach Osten, eine Geosynklinale war, in der die verschiedenen geosynklinalen (neritischen, bathyalen, abyssalen) Ablagerungen gebildet worden sind.

Diese verschiedenen Fazieszonen in den zentralasiatischen Gebirgen können heute freilich nur in den ersten Umrissen erkannt werden, um so mehr, als in vielen Fällen, besonders aus den östlichen Teilen, die stratigraphische Analyse noch im Anfangsstadium steckt.

Aber die Paläoiden Zentralasiens lassen heute schon den gleichen Bauplan erkennen, wie die analogen Glieder in Europa.

Die tektonischen Verhältnisse.

Was den orogenen Bau anbelangt, so sehen wir Falten und Überschiebungen in diesen alten Gebirgen. Auch Deckschollenstruktur ist aus dem Tianschan bekannt geworden. Bewegungen nach Süden werden gemeldet. Diese könnten ganz gut mit der Orogentektonik in Zusammenhang gebracht werden. Anderseits macht es wieder den Eindruck, wie wenn im Tianschan Bewegung nach Norden vorhanden wäre. Die orogene Tektonik dürfte sich zurzeit kaum mit Sicherheit vom Tianschan bis zum Tarbagatai erkennen lassen. Anders steht es mit der jüngeren disjunktiven Tektonik.


Digitized

Hier finden sich die gleichen Verhältnisse wie in Europa. Gesetz ist: Die emporgetragenen Horste quellen über die vorliegenden Becken. Dabei können natürlich alte orogene Linien aufwachen. So schiebt sich das Tianschansystem im Süden über das vorliegende Tarimbecken, genau so wie der Böhmerwald über die bayrische Kreide, oder das Riesengebirge an der Lausitzer Überschiebung über das vorliegende Becken nach Süden.

Die Becken werden zwischen den Horsten zusammengedrückt. Dadurch ergeben sich auch die streichenden Richtungen. Horste und Beckenanlagen zeigen O—W-Streichen. Randliche Überschiebungen quellen auf. Nirgends läßt sich eine einheitliche Südbewegung erkennen.

Morphologie.

Vom Baikalsee bis an den Tianschan herunter wird von allen Forschern und von allen Gebirgen gemeldet, daß weitgehende Verebnungsflächen noch heute auf der Höhe der Gebirge vorhanden sind. Alle diese Horste, Schollen, Ketten sind aus einer alten weitgehenden Verebnungsfläche herausgeschnitten worden. Dies ist die Tatsache.

Nur über das Alter der Verebnung bestehen große Differenzen. Eine Reihe von Forschern (Muschketow, Machatschek) hält diese Verebnung für alt, mesozoisch, während andere ihr wieder ein relativ junges Alter zuschreiben.

Sicher ist, daß hier im Mesozoikum lange Zeit hindurch Festland war, arides und humides Klima herrschte, daß erst mit der Oberkreide in Ferghana die Transgression von Süden herkam. Diese vergrößerte sich im Eozän. Doch der zentrale Teil Asiens wird von dieser Transgression nicht erreicht. Es scheint wahrscheinlich, daß den Verebnungen ein hohes Alter zukommt.

Die Zerstörung dieser weiten Verebnung, die unserer Meinung nach mit der sibirischen Ebenheit in ursächlichem Zusammenhange stand, ist eine relativ junge und reicht bis in die Gegenwart herein, wie die häufigen zentralasiatischen Erdbeben bezeugen.

Die junge Dislokation Zentralasiens ist eine Dislokation, die vom alpinen Orogen, von den Mesoiden ausgeht, indem die Bewegungswellen vom Orogen scheinbar immer weitere Kreise ziehen und auch das Vorland in die Bewegung hineinziehen.

Das System des Nanschan-Tsinlingschan, das dem mittleren und Ostkuenlun vorgelagert ist, ist wahrscheinlich auch ein neubelebtes paläozoisches Gebirgssystem. Es ist ein Abkömmling der paläozoischen Geosynklinale, der Tethys. In der Tat finden sich in diesen Gebirgssystemen mächtige paläozoische marine Sedimente, metamorph und gefaltet. Das Mesozoikum, soweit es vorhanden ist, zeigt die Fazies

Digitized by Google

der Angaraschichten. Es ist kontinental. Das Nanschansystem liegt außerhalb der mediterranen mesozoischen Geosynklinale. Die Grenze geht etwa durch Tsaidam, durch den Kuku-nor, wo noch marine Trias bekannt ist.

Das Nanschansystem ist ein Rest jener paläozoischen Alpen, die, analog wie in Europa, aus der mediterranen Geosynklinale des Paläozoikum entstanden sind. Diese innere Kette ist nicht landfest geworden, sondern ist im Mesozoikum neuerdings in das geosynklinale Stadium eingetreten. Aus dieser mesozoischen Geosynklinale sind die heutigen jungen Kettengebirge (Himalaya-Kuenlun) entstanden, fast genau an der Stelle der alten paläozoischen Hochalpen. Das junge Orogen deckt sich ganz mit dem paläozoischen, ähnlich wie in den Alpen, nur am Südostbogen tritt ein Stück des alten Orogen unter dem jüngeren hervor. Es ist nicht überwältigt vom jungen Bau, sondern zeigt in seinen Falten den alten paläozoischen Orogenbau. Das Gebirgssystem aber ist durch die jungen Ketten neu belebt worden, Schollengebirge oder Ketten wurden aus dem alten Orogen herausgehoben. So wurde ein Stück alten Orogens mit den Alpen zu einer Einheit verschweißt. Und doch sind es Stücke von ungleichem Baue. Dies muß besonders festgehalten werden.

Das Nanschansystem ist ein Stück der Paläiden, der Kuenlun die Randkette der Mesoiden.

Welche Bewegungsrichtung im Nanschan herrscht, ist derzeit wohl schwer zu sagen. In seinem östlichen Teil wenigstens, wo die sinische Masse vorliegt, müßte man eine alte orogene Bewegung nach Norden annehmen. Man wird wohl mit einer Bewegung nach außen hin zu rechnen haben.

Das Nanschansystem steht zum Kuenlun ungefähr im gleichen Verhältnis, wie etwa die Sudeten zu den Karpathen. Nur ist hier die Verschneidung des alten Orogen mit dem jungen noch eine viel schärfere, d. h. die Streichrichtungen der beiden Gebirge stehen fast senkrecht aufeinander. Dabei tauchen die Sudeten unter die jungen Bauten der Karpathen hinab. In den Karpathen ist der alte sudetische Bau durch die junge alpine Beckenbewegung vollständig verschwunden. An seine Stelle sind eben die Karpathen getreten. So ähnlich werden wir uns das Verhältnis von Nanschan zum Kuenlun vorzustellen haben.

Die Mesoiden.

Die jungen, mesozoisch-tertiären Kettengebirge der Umrahmung Asiens bilden eine einheitliche Zone, die als solche längst erkannt ist. Wir haben im Kapitel über den Bau der Orogene bereits die Hauptzüge des mesoiden Orogen der Umrahmung Asiens kennen gelernt und verweisen darauf (Seite 152).

Digitized by Google

Wir konnten insbesondere in der Südumrahmung Asiens im mesoiden Orogen den typischen Bauplan morphologisch, tektonisch und faziell aufzeigen und wollen hier nur der Vollständigkeit halber Folgendes anführen.

Die jungen Kettengebirge des Südens von Asien sind eine O—W laufende orogene Zone, deren Vorland im Norden und Süden gelegen ist. Im ersten Falle bildet der komplizierte Bau Asiens das Vorland, im zweiten Falle ist es die afrikanische Tafel, bezw. deren Fortsetzung, die arabische, dann die indisch-australische Masse. Zwischen diesen erstarrten Massen ist das Orogen ausgepreßt worden und zeigt dementsprechend Randketten, die auf das Vorland im Süden, bezw. im Norden bewegt sind. Dies sind die Stämme des Orogen. Wir konnten einen eurasiatischen, einen afrikanischen und einen indoaustralischen Stamm unterscheiden.

Der eurasiatische Stamm setzt mit dem Kaukasus ein, läßt sich in ununterbrochenem Zuge über die turkestanischen Randketten, den pamirischen, den Jarkand-Bogen, den Kuenlun, die Ketten von Jünnan bis an den Mekong als eine morphologische und tektonische Einheit verfolgen. Überall zeigt sich hier ein scharfer Gegensatz zwischen den Randketten und dem Vorland. Nur an wenigen Stellen, so vor dem Pamir, vor dem Kuenlun z. T. ist das Vorland neu belebt, zu kettenähnlichen Schollengebirgen aufgebaut worden, so daß scheinbar das Vorland und das junge Orogen zu einer gewissen Einheit verschmelzen. Diese ist aber mehr eine morphologische, als eine geologische. Denn das System des Tianschan, des Nanschan ist genetisch etwas anderes, als die Mesoiden. Es sind, wie wir zu zeigen versuchten, Neo-Paläiden, die hier an die Mesoiden angeschweißt sind. Der eurasiatische Stamm zeigt immer Bewegung auf das vor ihm liegende Vorland. Im Kaukasus ist die Bewegung nach Norden gerichtet, genau so wie in den turkestanischen Randketten. In Jünnan geht sie nach Osten.

Deckenbewegungen sind sicher im Kaukasus, im Norden Pamirs, in Jünnan zu erkennen. Sie erfolgen alle gesetzmäßig. Sekundär erscheinen wieder andere Bewegungsrichtungen. So zeigt der Kaukasus gegen den Einbruch im Süden eine Rückbewegung, eine jüngere Bewegungsphase andeutend, die mit dem Einbruch des Südens, bezw. mit dem Herausheben der Hauptkette des Kaukasus zusammenhängt. Im pamirischen Kopf sehen wir Bewegung gegen Westen, gegen Norden, gegen Osten (Jarkandbogen).

Der afrikanische Stamm tritt als eine einheitliche Randkette im taurisch-iranischen Bogen hervor. Das Vorland bildet die arabische Tafel. Die Bewegung geht immer auf diese. Deckenbau ist z. B. im Taurus bekannt geworden. Er geht gesetzmäßig auf das Vorland. Das östliche Stück des afrikanischen Bogens liegt auf Oman. Hier

Digitized by Google

tritt der iranische Bogen über den persischen Golf auf die arabische Halbinsel vor. Eigenartige metamorphe mesozoische Bildungen lassen sich hier an der Außenseite der Kette erkennen. An der Ostküste sinkt die Kette in das Meer.

Bisher wurde allgemein die Verbindung des iranischen Stammes mit den Ketten des Indus angenommen. Wir lassen die Frage vorläufig offen.

Der indisch-australische Stamm erscheint als eine einheitliche Randkette, deren Vorland Indo-Australien ist. Dorthin geht immer die Bewegung. Hieher gehören: Die Ketten des Indus, des Himalaya, der Bogen von Siam-Andamanen-Nikobaren, endlich die Ketten des Sundaarchipels, die über Sumatra, Java, Timor gegen Neuguinea laufen. Es sind Ketten, die z. T. sich in einschneidenden Winkeln ketten. Aber alle diese Ketten bilden eine Einheit. Sekundär erscheinen die Indusketten nach Osten bewegt, die des Himalaya nach Süden, die birmanischen Ketten nach Westen. Immer aber ist es die Bewegung nach außen, auf das Vorland. Deckenbau ist aus dem Himalaya, aus Sumatra, Timor bekannt.

Zwischen diesen Randketten (Stämmen) liegt das Orogen und zeigt in seinem Verlaufe gegen Osten einen gesetzmäßigen Bau, in dem das Orogen verengt, dann wieder erweitert wird. So entsteht der erweiterte und der verengte Typus des Orogen. Ersteren finden wir in Kleinasien, in Iran, in Tibet. Den verengten Bau zeigt Armenien oder Pamir. Hier, dann in Tibet ist das Orogen am höchsten emporgewölbt. Hier ist auch das Vorland im Norden mit aufgeschürft worden.

Durch das mediterrane Orogen sind hier drei Schollen miteinander verschweißt worden: die arabische (afrikanische), die indische und die angarische Masse. Junge Einbrüche haben neuerdings, besonders die Schollen im Süden, die indische Tafel, betroffen und so oberflächlich eine neue Gestaltung geschaffen.

Die Mesoiden der Ostumrahmung zeigen weitgehende Versenkung des Orogen. Aus dem Orogen sind nur die Inselzüge der Randketten stehen geblieben. Welchem Stamme diese Ketten angehören, ist nicht sicher zu entscheiden. Das Orogen hat N—S Verlauf ungefähr, und so haben wir westlich und östlich das Widerlager der erzeugenden Schollen anzunehmen. Dies wären im Westen der asiatische Kontinent, im Osten der Boden des Pazifik. Suess hat sich für Ostbewegung der ostasiatischen Inselreihen ausgesprochen. Die nach außen gekrümmten Bögen sprechen in der Tat für Bewegung auf den Pazifik. Hier liegen auch die Vortiefen. Und in der Tat werden wir für Kamtschatka als die Fortsetzung der Aleuten, für die Kurilen eine gemeinsame Bewegung auf den Pazifik anzunehmen haben. Diese Bewegung dürfte noch in Japan z. T. gelten, besonders in seinen östlichen Teilen. Wie

Digitized by Google

sich die allgemeinen orogenen Bewegungen weiter nach Süden abspielen, kann nur vermutet werden.

Wir können für die Bogen, die mit den Aleuten beginnen, über Japan gegen die Philippinen laufen, wohl zum größten Teil Ostbewegung, ganz im Sinne des Orogengesetzes, als höchst wahrscheinlich annehmen. Es sind dies die Bewegungen eines Stammes, der die Fortsetzung der Bewegung auf den Pazifik in den Küstenketten Nordamerikas ist. Diesen Stamm bezeichnen wir als den pazifischen Stamm.

Das Gegenstück ist der eurasiatische Stamm, den wir zum ersten Male in Ostasien im Sichota-Alin mit Sicherheit erkennen. Hier geht, man möchte sagen, für asiatische Verhältnisse ganz unerwartet, die Bewegung nach Novak gegen Westen. Diese Westbewegung dürfte höchst wahrscheinlich auch im Werchojanischen Bogen anzutreffen sein. Dafür spricht die Bogenform, dann das vorliegende (Lena-) Tafelland (Vorland).

Der eurasiatische Stamm ist auf der Strecke vom Sundaarchipel bis zum Sichota-Alin unterbrochen, versenkt, aber er ist zweifellos vorhanden und bildet so das Mittelglied zwischen dem eurasiatischen Stamm des Mediterran und dem der Nordostumrahmung von Asien.

Im äußersten Nordosten von Asien sind die Verhältnisse zu unbekannt, als daß sich Sicheres melden ließe. Die russische Anadyr-Expedition konnte zeigen, daß um den Anadyr der Bau des Landes vollständig dem der amerikanischen Seite entspricht, seinem tektonischen, faziellen und vulkanischen Verhalten nach. So ist wenigstens das sicher, daß die orogene Region Nordamerikas, die als solche klar erkannt ist, auf die asiatische Seite hinüber setzt und dort ein z. T. ganz alpines Gebirge aufbaut. Hier sind ja auch mesozoische Schichten geosynklinaler Abkunft bekannt, und zwar handelt es sich in der Trias und im Jura vielfach um jene Fazies, die wir rings um den Pol treffen. Sie ist durch den Reichtum an vulkanischen Produkten charakterisiert (grüne Gesteine). Am Eismeere bricht diese orogene Zone ab. Sie läßt sich aber wieder auf den sibirischen Inseln erkennen.

Das östliche Orogen Asiens zeigt faziell nicht jenen Reichtum an Kalken im Mesozoikum, wenigstens so weit dies heute bekannt ist. Vom mediterranen unterscheidet es sich auch durch den Reichtum an vulkanischen Phänomenen. Das Orogen zeigt auf seiner Ostseite besonders die langen Vortiefenreihen (Gräben). Auf der Westseite ist dies nicht bekannt. Hier bilden das südchinesische, das ostchinesische, das japanische Meer eine Art Vortiefenzone vor den auf das Festland drängenden Ketten. Dieser Meeresstrang könnte verglichen werden vielleicht mit der Molasseregion der Alpen.

Digitized by Google

Zusammenfassung.

Der asiatische Kontinent ist in seinem inneren Gefüge keine Einheit. Er besteht aus verschiedenaltrigen Teilen; aus Archäiden (Proteroiden), Paläiden und Mesoiden.

Archäiden sind: Indien, der größte Teil von China, der Norden Asiens (das sibirische Tafelland). Paläiden sind vor allem die zentralasiatischen Schollengebirge, vom Baikalsee bis zum Tianschan. Auch das Nanschan-System gehört dazu. Dazu kommen noch die jüngsten Bauglieder, die jungen Kettengebirge des Südens und des Ostens. Die sibirische Tafel wird mit der russischen durch die Verfestigung des uralischen Orogen verschweißt. Auf der anderen Seite wird es mit der sinischen Masse durch die Verlandung des zentralasiatischen (mongolischen) Orogen zu einer Einheit. Durch die Entstehung der jungen Ketten im Süden wird Indien, Arabien-Syrien, zu Teilen des asiatischen Kontinentalblockes.

Die Bewegungen sind zweifellos gesetzmäßige. Es gibt aber keine vorherrschende Südbewegung. Das Orogengesetz bestimmt die Bewegungsrichtung. Die Bewegung geht immer auf das Vorland. Sie geht vom Orogen aus, streicht gegen das kratogene Feld vor.

Der heutige morphologische Aufbau Asiens ist ein junger und steht in vollster Abhängigkeit von den jüngsten Bewegungen in den Mesoiden. Die umgürten in weitem Bogen Asien im Süden und im Osten. Es ist ein schmales Band gleichlaufender Dislokationen, die im orogenen Trog wurzeln. An dieses Band legen sich parallele Kraftlinien, Ausstrahlungen der Bewegungen in der Tiefe des mesoiden Orogen. Dabei werden alte Orogene vor allem lebendig. Die sogenannten Karpinskischen Linien, die Leitlinien des Tianschan, die Leitlinien des Chingan, die jungen SW—NO laufenden Dislokationen Chinas, stehen in Abhängigkeit von den Mesoiden. Sie bilden ausstrahlende Bogen, und deren innerster ist der sajanische Bogen um den Baikalsee.

In diesen Linien kommt der Bauplan im Festen, mit seinem charakteristischen Schollenbau, zum Ausdruck. Dessen Gesetz ist vor allem, daß die höher steigende Scholle die Tendenz hat, über die tiefer liegende randlich zu überquellen. Darum finden wir in der disjunktiven Dislokation im Tianschan Bewegung auf das Tarimbecken (Süden), im sajanischen Bogen Bewegung auf das Amphitheater von Irkutsk (nach Norden).

Asien bietet noch große Probleme. Hier müssen die einzelnen geogenetischen Einheiten genauer gesondert werden. Die Abgrenzung der älteren Kettengebirgszonen voneinander, dann von den jungen tertiären, die Absonderung der alten Massen, den orogenen Bau der alten und jungen Zonen aufzuhellen, die Beziehungen der großen Bewegungen

Digitized by Google

zueinander und zum Ganzen, dann das Studium der großen Faziesbezirke der einzelnen orogenetischen Zonen, das alles sind Aufgaben, die der Zukunft vorbehalten sind. Was heute über den Bau Asiens, besonders der alten Orogene bekannt ist, sind im allgemeinen die morphologischen und die jungtektonischen Züge, alles andere steckt in den Anfängen.

Afrika.

Der Aufbau von Afrika ist noch dunkler als der Asiens. Nur wenige feste Einheiten treten sicher hervor. Diese sind:

1. Die Atlasregion mit mesoidem Bauplan. Sie nimmt den Nordwesten Afrikas ein. Die Grenze gegen das südliche Vorland gibt eine Linie, die von der kleinen Syrte in Tunis in SW-Richtung zum Wadi Draa läuft. Die Region ist durch französische Forscher hauptsächlich, im besonderen durch L. Gentil im Westen bekannt geworden. Es ist typischer alpiner Bauplan vorhanden. Weitgehende Deckenbauten wurden aufgedeckt. Nach Termier bildet die Miozänzone von Fez die Wurzelzone für die nach Süden abfließenden Decken des Atlas. Diese Bewegung entspricht vollständig dem Orogengesetz. Dagegen ist das Riff nordbewegt und ist ein Teil der betischen Kordillere. Die Atlasregion ist nur ein Teil des alpinen Orogen, und zwar hauptsächlich des Südstammes, der Afrika umrahmt (afrikanischer Stamm).

2. Das Kapgebirge ist ein paläozoisches Gebirge, das neu belebt worden ist. Das Kapgebirge zeigt in seinem alten paläozoischen Bau Bewegung gegen Norden, auf die Karroo. Deckenbau ist bekannt. Das nördliche Gebirge ist Deckenland, das südlichere Wurzelland. Das Kapgebirge ist aber nur ein ganz kleines Stück eines paläozoischen Orogen, das Afrika im Süden umrahmt hat. Das Stück, das heute sichtbar ist, erweist sich als ein Teil eines Stammes, dessen Vorland die Karroo war. Dieser junge Stamm ist ein Schollengebirge.

3. Die Sahariden, jene vordevonisch erstarrten Gebirgsteile im Süden des Atlas, die gegen den Niger sich hinziehen. In Togo erscheinen möglicherweise paläozoische gefaltete Gebirgsteile, die als die Fortsetzung der Sahariden gegen Süden angesehen werden könnten.

Allem Anscheine nach geht vom Atlas nach Süden, gegen den Niger zu, eine ältere paläozoische Faltenkette. Diese Kette würde die afrikanische Tafel des Nordens in zwei Teile zerlegen, einen westlichen, der die Küstenzone umfaßt, und einen östlichen, der den Hauptkörper der afrikanischen Tafel bildet.

Näheres aber über Abgrenzung, Streichrichtung, Bewegungsrichtung, Alter des Gebirges ist derzeit nicht bekannt. Die ganze Zone ist noch recht hypothetisch.

Digitized by Google

Ganz ähnlich steht es mit einem paläozoischen Gebirge aus dem zentralen Afrika. Hier werden von der Ostseite des Tanganikasees gefaltete Gebirgsglieder gemeldet, für die paläozoisches Alter angenommen wird. Im alten Gneisvorlande finden sich alte Eruptiva. Diese scheiden sich scharf von den jungvulkanischen Produkten der Grabenreihe. Die alte Verebnungsfläche ist jung disloziert (ostafrikanische Grabenreihe). So erscheint in tieferen Schollen alter Bau.

H. Reck sagt darüber: „Scharf von den jungvulkanischen extrusiven Gebilden sind ältere vulkanische Erzeugnisse zu scheiden, welche besonders häufig intrusiv als Gänge, Lager und Stöcke in dem dem ostafrikanischen Graben vorgelagerten Gneisgebiet auftreten. Sie gehören der Zone eines alten, wohl paläozoischen Gebirges an, das heute oberflächlich vollständig zerstört ist, dessen Wurzelregion aber dennoch strukturell im Gneissockel deutlich zu erkennen ist."

Eine Reihe orogener Anzeichen finden sich ferner im Kongobecken, die uns ein paläozoisches Gebirge in diesen Regionen vermuten lassen. So finden sich merkwürdige glaziale Bildungen am Ende des Paläozoikum, die vielleicht sogar bis in die Trias reichen. Dann finden sich höchst kompliziert gebaute, faziell reich differenzierte Bildungen, die z. T. metamorph und gefaltet sind, die dem jüngeren Paläozoikum, bezw. der Trias angehören. Diese Bildungen haben große Mächtigkeit. Ihre Bildung auf einem Tafellande erscheint recht unverständlich (Hennig). Mesozoische marine Bildungen sind aus dem inneren Afrika bekannt. Solche Bildungen erscheinen gerne als die Nachläufer paläozoischer Geosynklinalen, bezw. Orogene, z. B. im Ural (Jura), in den Appalachen.

Wir wollen hier eben nur auf die Möglichkeit des Vorhandenseins einer paläozoischen Gebirgskette in diesen Regionen Afrikas hinweisen. Die Zukunft wird auch hier Aufklärung bringen.

Hinsichtlich der tektonischen Vorgänge dieser Gebiete ist Cornet zur Annahme gekommen, daß in der Hauptsache drei große Faltungsperioden und -systeme sich erkennen lassen, die in Parallele zu den in Europa bekannten großen Faltungsperioden, der huronischen, der kaledonischen und der herzynischen, gestellt werden können.

4. Der Großteil Afrikas gehört alten erstarrten Massen, Archäiden, an. Hierher sind vor allem der Norden und Osten zu rechnen, das sudan-äthiopische Gebiet, dann möglicherweise die westliche Sahara und das Karroogebiet. Sicher ist, daß die afrikanische Tafel nicht so einfach gebaut ist, als man bisher angenommen hat.

So sind auch hier Archäiden durch Paläiden verkittet worden zu einer Einheit, der in jüngster Zeit noch ein neues Bauglied jungen Alters, der Atlas, zugefügt worden ist.

Digitized by Google

Nordamerika.

In Nordamerika haben wir folgende Teile zu unterscheiden.

1. Den alten kanadischen Schild mit seinem vorkambrischen Bau. Innerhalb dieses Schildes liegt am Lake superior eine jüngere proterozoische orogene Zone. Der kanadische Schild wird im Norden von der Vereintstaatenkette umrahmt, im Westen von den Rocky Mts. Beide Ketten sind Mesoiden mit allgemeiner Bewegung auf den kanadischen Schild. Im Osten bildet in den Appalachen ein paläozoisches Gebirge, wieder mit Bewegung auf die Tafel, die Umrahmung. Fast der ganze Nordosten, der Grönland umfaßt, sinkt mit echtem archäischen Tafelbau in den Atlantik. Die faltende Umrahmung ist nicht oberflächlich zu sehen, ebensowenig wie im größten Teile der arktischen Region oder im Süden, am Mississippi.

Eine alte archäische Masse ist ferner das Koloradoplateau, das in das orogene Feld der Mesoiden z. T. einbezogen erscheint. (Siehe Profil 28, Seite 161.)

2. Paläiden sind vor allem die Appalachen. Sie erstrecken sich von Neufundland bis an die Ostseite des Mississippi. Im Westen dieses Flusses treten sie nur in einzelnen Horsten am Red River usw. hervor. Die Bewegung, soweit bekannt, geht auf den kanadischen Schild. Es ist also der kanadische Stamm. Dieser Stamm muß im Atlantik nach Osten fortsetzen. Nach Termier und nach unseren Vorstellungen, die im Orogengesetz fundiert sind, ist die Fortsetzung des kanadischen Stammes in Europa, in den „Kaledoniden" Schottlands zu suchen. Diese Verhältnisse wurden bereits früher besprochen.

Paläidenteile treten jedenfalls auch auf größere Strecken auf der Ost- und Nordseite der Mesoiden, in den Rocky Mts. und ihren Vorlagen (am Mackenzie) hervor. Die alten paläozoischen Gebirgsteile sind Abkömmlinge der paläozoischen Geosynklinale, die hier zweifellos vorhanden gewesen ist. Dafür sprechen die reichen paläozoischen marinen Ablagerungen. Dieses Orogen ist aber im Mesozoikum, ähnlich wie das mediterrane, wieder in die geosynklinale Phase getreten, in deren weiterer Fortbildung das mesoide Orogen entstanden ist, fast an derselben Stelle, wie das paläozoische. Der ältere paläozoische Bau ist vom mesoiden fast ganz überwältigt worden. Nur kleinere Teile am Außenrande dürften erhalten geblieben sein. Diese Teile sind auch von De Launay als paläozoisch gefaltete Teile bezeichnet worden.

3. Mesoiden liegen in den Ketten des Westens vor. Das nordamerikanische Mesoidenorogen wurde früher bereits besprochen. Wir können uns kurz fassen und sagen, daß der charakteristische Bau des Orogen klar ausgesprochen ist.

Digitized by Google

Ein Weststamm, der pazifische, ist zu unterscheiden. Er umfaßt die Gesamtheit der Pacific Ranges. Sie sind alle einheitlich auf den Pazifik (gegen Westen) bewegt. Der Oststamm wird von den Rocky Mts. gebildet. Es ist der nordamerikanische Stamm, der immer auf den Kontinent bewegt ist. Ein Teil dieses Stammes ist die so isolierte Vereintstaatenkette. Sie ist entsprechend dem Orogengesetz nach Süden bewegt.

Das Zwischengebirge nimmt im Interior Plateau einen weiten Raum ein, von Alaska bis an den Kolorado reichend.

Vor den eigentlichen Mesoiden der Rocky Mts. liegt die „Präkordillere“, die Ketten von Sa. Fé umfassend. Diese sind nicht echt orogene mesoide Teile, sondern aufgeschürfter Untergrund des Vorlandes, erzeugt in relativ junger Zeit unter dem Vorrücken der orogenen Bewegung auf das Vorland. Diese Ketten lösen sich im Yellowstonepark von den eigentlichen Rocky Mts. los, schieben im Süden sich vor das Koloradoplateau, erscheinen hier gleichsam als der Steilabfall des hoch empor getragenen Plateaus. Dieses senkt sich gegen Westen, taucht wahrscheinlich an den Überschiebungen des Whasatchgebirges unter die eigentlichen Ketten der Rocky Mts. unter.

Die Pacific Ranges setzen unserer Meinung nach in Kalifornien fort, während die Rocky Mts. ihre tektonische Fortsetzung in der Sierra occidental (Sierra di Madre) haben. Dann ist die Sierra oriental die tektonische und natürliche Fortsetzung der Präkordillere und das mexikanische Hochland ist ein Äquivalent des Koloradoplateau. Auch in diesem Falle könnte das mexikanische Hochland Faltenbau zeigen, etwa vom Typus des Jura, oder den Falten von Setschwan. (Rotes Becken.)

Diese Analyse Nordamerikas zeigt relativ einfachen Bau, einen großen archäischen Schild, eine Paläidenzone (Appalachen) und eine ziemlich vollständig, wenigstens im Westen vorhandene Mesoidenzone, mit dem typischen orogenen Bau in Morphologie, Tektonik und Fazies.

Südamerika.

Hier tritt vor allem die andine Region als junge mesozoisch-tertiäre Kettenzone deutlich in Erscheinung. Die Bewegung geht auf Südamerika. Deckenbau ist bekannt.

Das Gebirge wurde hier als der südamerikanische Stamm eines mesoiden Orogen gedeutet, dessen eine Hälfte, eben die andine, nur vorhanden ist, während die andere, die auf den Südpazifik bewegt gewesen ist, versunken in der Tiefe des Meeres liegt. Die Anden sind also nur ein Ast eines Orogen, zeigen aber als solcher die typischen Merkmale.



Paläiden liegen wahrscheinlich in den pampinen Sierren (Sierra de la Ventana) vor. Möglicherweise gehören auch die Gebirgszüge der Ostküste paläozoischen Ketten an. Wenigstens hat Woodwarth die Möglichkeit ausgesprochen, daß in den gefalteten Schiefern, auf denen das Devon transgredieren soll, wahrscheinlich älteres Paläozoikum vorliegt. Wir finden hier ähnliche Verhältnisse bezüglich des Baues wie etwa bei den Sahariden, den Kaledoniden. Auch hier kann die Zukunft die Lösung dieser Fragen bringen.

Australien.

In diesem kleinen Kontinent läßt sich die Ost-Umrahmung sicher als paläozoische Gebirgskette von dem übrigen Teil des Kontinentes scheiden, der alten archäischen Bau zeigt; vielleicht die äußerste Südwestküste ausgenommen.

Die Gebirge des Ostens sind Neo-Paläiden, also jung belebte paläozoische Ketten. Die Ketten sind Schollengebirge, aus einer alten Verebnung, die auch über die Archäiden Australiens hinweggegangen ist, herausgeschnitten worden sind.

Die Ketten der Inseln von Neuguinea bis Neuseeland sind Mesoiden.

Antarktik.

In der Antarktis scheidet sich die Westantarktis mit Grahamland als Fortsetzung der andinen Region, als mesoider Teil, von der Ostantarktis, einem alten archäischen Massiv. Möglicherweise liegt auf Kg. Eduard Land die Fortsetzung der Mesoiden von Grahamland, gegen Australien, vor.

In der Antarktis werden der Polarforschung von der geotektonischen Seite große und wichtige Fragen zur Lösung vorgelegt. Die geogenetischen Glieder, die Mesoiden, die Archäiden müßten geschieden, die geographische Abgrenzung festgelegt werden. Vielleicht sind die jungen Kettengebirgszüge von Grahamland nicht direkt über Kg. Eduard Land gegen Neuseeland ziehend zu denken. Möglich, daß sie ihren Weg über den Pol nehmen und eine Verbindung etwa gegen den indischen Rücken zu suchen wäre, derart, daß dann das Viktorialand in direkten tektonischen Zusammenhang mit Australien käme. Die zukünftige Forschung in der Antarktis wird daran denken müssen, eine allgemeine gleichmäßige Bearbeitung aller Teile in Angriff zu nehmen. Die Durchlotung der Meeresgebiete vor der großen Barriere, die Erforschung dieser selbst und ihres Hinterlandes werden wertvolle wissenschaftliche Ergebnisse werden.

Digitized by Google

VIII. Analyse der ozeanischen Becken.

Entstehung.

Die ozeanischen Böden nehmen zwei Drittel der Erdoberfläche, die zweite (tiefere) Hauptniveaufläche der Erde ein.

Über die Entstehung der ozeanischen Becken gibt es eine Reihe mannigfaltiger Anschauungen, die z. T. einander mehr oder weniger parallel laufen, z. T. sich aber ganz widersprechen.

Die Frage nach der Entstehung, nach dem Alter der Ozeane ist eine oft diskutierte Frage der Geologie. Ein Teil der Forscher tritt für die Permanenz der ozeanischen Becken, also für ein hohes Alter derselben ein, während eine andere Gruppe von Forschern sich für ein junges Alter der ozeanischen Senken ausspricht. Die Meinungen widersprechen da einander vollständig.

So nimmt wohl ein Großteil der Forscher z. B. für den Pazifik ein hohes Alter an. Haug dagegen vermutet im Pazifik eine große kontinentale Landmasse für das Mesozoikum. Wohl die meisten Forscher stehen auf dem Standpunkte, daß die ozeanischen Böden im allgemeinen durch Einbrüche von kontinentalen Massen entstanden seien. So z. B. ist der Indik durch den Zusammenbruch des Gondwanalandes in frühmesozoischer Zeit entstanden. Der Atlantik, wenigstens in seinem südlichen Teile, ist aus dem Zusammenbruche des großen Südkontinentes, der Afrika mit Brasilien im Mesozoikum verbunden haben soll, hervorgegangen.

Alle diese Anschauungen wurzeln gleichsam in der Vorstellung, daß der Boden der Ozeane aus dem gleichen Materiale besteht wie der der kontinentalen Schollen, also in der Vorstellung der Einheit der Erdrinde.

Dies ist auch eine der Grundvorstellungen der Geologie. Die geologische Geschichte zeigt auch, daß überall, wo auf der Erde ehemalige Ozeanböden sichtbar werden, immer wieder nur die bekannten Gesteinsreihen erscheinen, z. B. in den orogenetischen Zonen.

Wie immer, so gibt es auch hier Vorstellungen, die den Boden der Erfahrung verlassen und rein spekulativ eine Lösung der schwebenden Fragen versuchen.

So existieren zahlreiche Vorstellungen, Hypothesen, die andersgeartete Lösungen vorschlagen.

So verdankt nach Pickering der Pazifik seine Entstehung der Abtrennung des Mondes von der Erde. Andere wieder bringen die

Digitized by Google

Entstehung der ozeanischen Senken mit dem Aufschlagen meteorischer Körper auf der Erdrinde in Verbindung.

Diese Anschauungen basieren jedenfalls nicht auf geologischer Grundlage.

Von Wegener wieder ist die Idee vertreten worden, daß die Ozeane, besonders der atlantische z. B., durch Zerreißen und Auseinandertreiben der Kontinentalblöcke der alten und der neuen Welt in junger Zeit entstanden seien. Auf dem atlantischen Boden liegt nicht, sozusagen, Erdrinde vom Typus der Kontinentalmasse. Es kommt dort eine tiefere simatische Zone der Erde nach oben.

Diese Vorstellungen schließen die Einheit des Baues der Erdrinde aus und gehören in den Bereich eines Vorstellungskreises, der in den Gesteinsmassen der ozeanischen Böden etwas anderes sieht als in denen der kontinentalen Böden. So sollen die ozeanischen Inseln keine kontinentalen Sockel haben, sondern nur „vulkanisch" sein. Die Ozeanböden sollen dementsprechend aus basischen Massen aufgebaut sein.

Mögen auch auf dem Boden der ozeanischen Senken größere Räume vielleicht von basischen Ergüssen erfüllt sein, keinesfalls aber kann man eine allgemeine Regel aufstellen. Auch ist nicht erwiesen worden, daß die Ozeane wirklich schwerere Rindenteile sind, als die kontinentalen Schollen. Die Schwerewirkungen können, wie Suess schon betont hat, nicht herangezogen werden. Wo positive Werte auf dem Weltmeere gemessen worden sind, sind es Werte, meist hervorgerufen durch lokale Verhältnisse, submarine Rücken, Inselzüge mit viel vulkanischem (schwererem) Materiale. Die Schweremessungen sind da nicht einwandfrei. Der ganze Vorstellungskreis der isostatischen Hypothese kann sicherlich nur in allgemeinem Rahmen gelten, wenn er überhaupt gilt. Die Hypothese von Wegener ist mit Recht ein „Spiel von Möglichkeiten" genannt worden.

Unsere Aufgabe kann es nicht sein, diese Vorstellungen weiter gegeneinander abzuwägen und daraus eine Meinung über den Boden der Ozeane auszusprechen. Wir bleiben auf der geologischen Grundlage, auf den Erfahrungen, die wir an den Kontinentalschollen gemacht haben, und wollen auf diesem Wege eine Analyse des Baues der ozeanischen Böden versuchen.

Der Geologie der Ozeane ist in den letzten Jahren schon erhöhte Aufmerksamkeit zugewendet worden. So hat man über die Bodenverhältnisse des Ärmelkanales, über die Zusammensetzung der Umgebung der britischen Inseln (gegen Westen) einige geologische Erfahrungen sammeln können. Alle diese Ergebnisse bestätigen, daß die Bodenteile dieser Meere aus versenkten kontinentalen Gesteinen bestehen, wie sie z. B. in den britischen Inseln zutage treten. Sie liegen ja auch auf dem kontinentalen Sockel.

Digitized by Google

Wir haben die sichtbare Erdoberfläche in ihre tektonischen Einheiten zerlegt und haben versucht, den äußeren und inneren Bau, dessen Material in den Hauptzügen aufzuzeigen.

Die Kontinentalmassen konnten in alte Tafeln und Orogene zerlegt werden. Charakteristische Oberflächenbilder fanden sich mit den Archäiden, den Paläiden, den Mesoiden verbunden. Bestimmte Dimensionen traten hervor. Allgemeine geologische Phänomene knüpften sich an die Kratogene, an die Orogene. Bestimmte Faziestypen stellten sich gesetzmäßig ein.

So traten eine Reihe fester Züge hervor. Diese können wir verwenden, wenn wir den Boden der ozeanischen Senken betrachten wollen. Nur allgemeine Züge der Analyse werden wir geben können.

Unsere Aufgabe wäre: Den Boden der Ozeane in die großen Einheiten, in Archäiden, Paläiden und Mesoiden zu zerlegen. Das wird in Fällen möglich sein.

Beim Vergleich der vorhandenen Tiefenkarten der Ozeane erkennt man bald, daß die Darstellnngen oft recht weitgehend voneinander abweichen. Wir kennen das Ozeanrelief noch recht wenig und wir werden zur Vorsicht gemahnt bei der Beurteilung der morphologischen Verhältnisse der Tiefen der Ozeane.

In dieser Hinsicht sind die Versuche interessant, die gemacht worden sind, z. B. den Boden Frankreichs darzustellen nach der Art, wie die Ozeanböden ausgemessen werden. Natürlich ist das Dichtenetz der Beobachtungen von ausschlaggebender Bedeutung. Aber diese Versuche zeigen, daß durch Messungen nach Art der ozeanischen Vermessungen nur ein ganz rohes Bild der Bodenverhältnisse erzielt werden kann, oder besser gesagt, unsere Messungen der ozeanischen Böden können nur ganz schwache Abbilder der wirklichen Verhältnisse sein.

Andererseits sind die Bodenformen, die sich in den ozeanischen Becken enthüllen, so charakteristisch, daß sie dennoch einen Einblick in die Genetik gewähren.

Der Atlantik.

Über die Tiefenverhältnisse des atlantischen Ozeans liegen zwei Karten vor, eine von Schott, eine von Groll. Beide Karten weichen beträchtlich voneinander ab. Wir folgen hier der jüngeren Karte von Groll.

Ein recht auffälliger Bauplan zeigt sich in den Tiefenverhältnissen des Atlantik.

Morphologie.

Betrachten wir die Bodenverhältnissé des atlantischen Ozeans, so treten zwei Hauptformen scharf entgegen. Es sind die Rücken und



die Mulden. Sie zeigen vollständig gesetzmäßigen Bau, der bisher wenig beachtet worden ist und auf den hier ganz besonders hingewiesen werden soll. Er wird zum Ausgangspunkt für die geotektonische Deutung des Atlantik.

Die Rücken.

Der auffallendste Zug des Atlantik liegt im atlantischen Rücken. Es ist ein relativ schmaler Höhenrücken, der sich aus Tiefen von 5000—6000 m mit flachen Hängen bis in die Höhen zwischen 4000—3000 m unter dem Meeresspiegel erhebt. Stellenweise reicht er noch näher an die Meeresoberfläche heran oder erhebt sich mit kleinen Inseln über den Meeresspiegel. Der ganze Höhenrücken läßt sich von 50° nördlicher Breite (Höhe der britischen Inseln) bis 50° südlicher Breite verfolgen und gliedert sich in einen nördlichen und südlichen Ast. Die Grenze zwischen beiden liegt im Äquator bei 10—30° westlicher Länge.

Der nördliche atlantische Rücken macht in seinem unteren Teil einen Bogen, konform der afrikanischen Küste. Im weiteren Verlaufe nach NO ist die allgemeine Streichrichtung wieder ungefähr parallel dem europäischen Kontinentalrande. Der Rücken ist durchschnittlich 20—30° vom europäisch-afrikanischen Kontinentalrande entfernt.

Der südliche Ast des atlantischen Rückens verläuft im allgemeinen N—S, mit einer leichten Einbiegung am südlichen Ende gegen Osten. Wieder wird in großen Zügen die Linie der afrikanischen Scholle nachgeahmt.

Die Rücken werden stellenweise schmal und scheinen felsige Erhebungen zu tragen. An anderen Stellen wieder treten größere plateauartige Verbreiterungen auf, die im Plateau der Azoren im Norden, im Plateau der Bouvet-Inseln im Süden, z. T. über den Meeresspiegel aufragen.

Der Walfischrücken ist eine Erhöhung, die sich vom südatlantischen Rücken bei den Inseln Tristan da Cunha und Gough loslöst und in NO-Richtung gegen die afrikanische Küste zieht. In der östlichen Hälfte ragt dieser Rücken bis in die Höhen 3000—2000 m unter dem Meeresspiegel.

Der Rio grande-Rücken ist der brasilianischen Küste gegenüber Rio de Janeiro vorgelagert. Er streicht gegen SO und läßt sich etwa mit durchschnittlicher Höhe von 3000 m auf eine Strecke von 15—20° verfolgen.

Der atlantische Ozean wird im Norden durch die Brücke, die sich von Europa über Island nach Grönland spannt (Island-Rücken), ziemlich scharf begrenzt. In dieser Brücke, die eine junge Versenkung darstellt, sinkt der Boden nirgends unter die 1000 m-Linie. Von hier

Digitized by Google

aus senkt sich das atlantische Becken nach Süden ein, der Skandik zwischen Island und Spitzbergen nach Norden.

Der Skandik ist eine 3000—4000 m erreichende Mulde, die selbst wieder vom Arktik durch eine 1000 m-Schwelle geschieden ist.

Im Süden hat der Boden des atlantischen Ozeans keine natürliche Grenze gegen den indischen Ozean.

Die Mulden.

Westlich und östlich des atlantischen Rückens zieht sich eine eigenartig gelagerte Muldenreihe hin. Die westlichen Mulden sind: Die nordamerikanische (Bermuda-) Mulde, die bis in Tiefen von 6000 m absinkt, zwischen den Antillen, der SO-Küste Nordamerikas und dem nordatlantischen Rücken gelegen, die brasilianische Mulde, die mit N—S-Richtung der brasilianischen Küste vorliegt und durch den Rio grande-Rücken von der argentinischen Mulde geschieden ist. Beide Mulden senken sich auf 5000—6000 m ein.

Die östlichen Mulden sind: Die Cap Verde Mulde, westlich der Kanaren und den Cap Verdischen Inseln gelegen, dann die Kongo-Mulde, weiter im Süden die Oranje-Mulde und die Cap-Mulde. Alle diese Mulden sind scharf geschiedene, wannenartige Vertiefungen, die zwischen 5000 und 6000 m Tiefe liegen.

Neben diesen großen Mulden kommen beiderseits des Rückens noch kleinere, 5000—6000 m reichende Vertiefungen im atlantischen Ozean vor, so an der NO-Küste Brasiliens, vor der iberischen Halbinsel, insbesondere schieben sich solche kleinere Mulden zwischen der Cap Verde- und der Kongo-Mulde ein.

Gräben, ähnlich denen des pazifischen Ozeans, finden sich im atlantischen fast nicht. Eine einzige Grabenfurche ist den Antillen auf ihrer Nordseite vorgelagert. In diesem Antillengraben sinkt die Vortiefe auf 8340 m ab.

Überblicken wir das Gesamtbild des morphologischen Aufbaues des atlantischen Gebietes auf Grund der Karten von Groll, so zeigt sich ganz zweifellos eine gewisse feste Gesetzmäßigkeit des Aufbaues.

Zwischen den Kontinentalschollen Europa-Afrika einerseits und Nord-Südamerika anderseits spannt sich das Becken des atlantischen Ozeans, durch den atlantischen Rücken zweigeteilt, dergestalt, daß in den so entstandenen Tiefenrinnen wieder selbständige Mulden sich bilden. Diese zeigen bestimmte Tiefen und bestimmte Streichrichtungen, die der allgemeinen Streichrichtung folgen. Diese Richtung ist N—S.

Augenfällig ist der Parallelismus der großen Linien. Der Verlauf des atlantischen Rückens ist annähernd parallel der Küstenlinie des afrikanisch-europäischen Kontinentalblockes. Die atlantischen Küsten-



linien der alten und neuen Welt zeigen einen solchen Parallelismus, daß die rein geographische Betrachtung leicht zur Ansicht führen kann, daß hier ursprünglich eine Einheit vorlag.

Die morphologischen Formen des Bodens des atlantischen Ozeans machen den Eindruck, wie wenn sie durch die Zusammendrückung des ganzen atlantischen Beckens zwischen den Kontinentalmassen der alten und der neuen Welt entstanden wären.

Das atlantische Becken ist gleichsam zwischen die Backen der Kontinentalschollen der alten und neuen Welt eingespannt und alle wichtigen tektonischen und morphologischen Linien des ganzen Gebietes stehen in voller Abhängigkeit von denen der kontinentalen Schollen.

Der atlantische Rücken stellt eine Geoantiklinale dar, der östlich und westlich eine Geosynklinale angelagert ist. Diese tieferen Furchen zerfallen wieder in einzelne wohlgeschiedene Mulden.

Der geologische Aufbau der Umrahmung des atlantischen Ozeans.

In Europa bilden vom Nordkap bis an die Mündung des Guadalquivir Paläiden die Küste. Dann folgen Mesoiden in der betischen Kordillere, desgleichen auch im Atlas. Weiter bilden in Afrika Archäiden die Küste, ausgenommen vielleicht von Streifen um die Mündung des Niger, des Kongo, wo möglicherweise Paläiden den Untergrund bilden. Diese bilden im Kapgebirge auch die Südspitze von Afrika.

Auf der Westseite des Atlantik erscheinen in Nordamerika Paläiden (Kaledoniden) vielleicht in Nordgrönland (Holtedahl), in den Appalachen, und Mesoiden in den Antillen. Alles andere Küstengebiet wird von Archäiden gebildet. In Südamerika tritt die brasilianische Tafel mit Archäiden an den Ozean heran. Der größte Teil der Küste dürfte aber alten verebneten paläozoischen Ketten zufallen.

So bilden die Umrahmung des atlantischen Ozean alte Teile kontinentalen Baues und wir werden annehmen müssen, daß der kontinentale Bau noch ein Stück weit in den Ozean hinaus fortsetzt.

Das ist auch der Fall. Z. B. hat man in dem Riff, das NW von Island liegt (Rockhall), die kontinentalen Gesteine gefunden. Die Kanaren haben kontinentalen Bau, ebenso die Kap Verden. Manche der atlantischen Inseln sind rein vulkanisch. Die Falklandsinseln zeigen dagegen wieder kontinentalen Bau, genau so wie die südlichen Antillen. Die arktischen Inseln zeigen kontinentalen Bau. Auf dem Boden des Atlantik muß unbedingt auch kontinentaler Bau vorhanden sein. So muß z. B. eine Verbindung der Paläiden Europas mit denen von Nordamerika

Digitized by Google

existieren. Diese Verbindung wird seit alter Zeit her angenommen. Das Verbindungsstück liegt versenkt auf dem Boden des Atlantik.

Das Kapgebirge hat sicherlich eine Fortsetzung auf dem Boden des Ozeans, und in der Tat haben Keidel und Frech die paläozoischen Gebirge Südafrikas mit den paläozoischen Gebirgen Südamerikas, z. B. mit der Sierra de la Ventana verbunden. Nach Frech ist der kleine Rio de Janeiro-Rücken ein solches Verbindungsstück, das noch morphologisch deutlich in Erscheinung tritt.

Die Tafelmassen von Argentinien, von Brasilien, von Nordamerika, Grönland setzen zweifellos in den Atlantik hinein noch ein Stück fort, ebenso auch die alten Massen von Afrika usw. Die Mesoiden Europas haben ihre Fortsetzung in den Kanaren, wahrscheinlich auch in den Azoren.

So wird der Boden des atlantischen Ozeans zweifellos von den Fortsetzungen der Bauformen der umrahmenden Kontinentalmassen gebildet.

Doch nicht ganz. Jedenfalls werden sich auch Zonen ergeben, die nicht mehr die direkte Fortsetzung des kontinentalen Baues sind, sondern vielleicht schon selbständige Bauformen, so z. B. der atlantische Rücken.

Was ist die tektonische, geologische Bedeutung dieser so eigentümlichen Bauform?

Die geotektonische Bedeutung des atlantischen Rückens.

Eine Reihe von Geologen haben sich mit dieser Frage beschäftigt.

Der atlantische Rücken wird in neuerer Zeit gerne als Beispiel eines auf dem Meeresboden entstehenden Gebirges angegeben. Nach dieser Vorstellung bildet der atlantische Ozean eine Geosynklinale, auf deren Boden die Geantiklinale des atlantischen Rückens sich erhebt. Dieses embryonale Gebirge entsteht nach dieser Vorstellung durch den Zusammenstau, durch die gegeneinander pressenden Kontinentalmassen der alten und neuen Welt.

Diese Vorstellung hat vieles für sich und erklärt auch die allgemeinen morphologischen Leitlinien des atlantischen Gebietes.

Daß der atlantische Rücken irgendwie mit einem Gebirge zusammenhängt, dürfte so ziemlich allgemein angenommen werden. So spricht sich auch Sieberg auf Grund der hohen Seismizität des atlantischen Rückens für die Existenz eines Gebirges in dieser Region aus. Tornquist zeichnet in der Tat auch in seinem Lehrbuche der Geologie den atlantischen Rücken als einen Gebirgszug.

Wir versuchen nun auf Grund unserer Erfahrungen an den Kontinentalmassen, der Frage der Deutung des atlantischen Rückens näher zu kommen.

Digitized by Google

Wenn wir die Erfahrungen, die wir auf den Kontinentalschollen gemacht haben, auf den atlantischen Rücken anwenden, dann müssen wir sagen: Es gibt nur eine morphologische Großform der Erdoberfläche, die sich mit der des atlantischen Rückens vergleichen läßt. Das ist die Form der Kettengebirge, der orogenetischen Zonen. Nur diese haben ähnlichen Bauplan. Denken wir uns eine Kettengebirgsregion versenkt, so können ganz gut schmale, lang hinziehende, submarine Rücken entstehen. Wir sehen ja in der Tat, wie sich junge Kettengebirge beim Versinken auf den Meeresboden in Inselreihen auflösen, die noch den typischen orogenen Bau zeigen. Werden sie tiefer versenkt, so entstehen submarine Züge (Sunda-Archipel, die Ozeaniden).

Daß der atlantische Rücken in irgend einem Zusammenhange mit der Gebirgsbildung steht, dürfte heute, wie gesagt, allgemein angenommen werden. Er wird gerne als entstehendes Gebirge hingestellt.

Es gibt aber noch eine zweite Möglichkeit der Deutung. Diese ist: Der atlantische Rücken wäre ein versenktes junges Kettengebirge, ein versenktes junges Orogen. Es wäre aus einer mesozoischen Geosynklinale geboren worden, im späteren Mesozoikum, im Tertiär, genau so wie die anderen jungen Kettengebirge entstanden. In der Folgezeit ist aber dieses Kettengebirge niedergebrochen.

Dieses atlantische Gebirge muß nicht ganz landfest geworden sein, wenigstens nicht in seinem ganzen Verlaufe. Der Zyklus, den das Gebirge durchgemacht hat, führte aus der geosynklinalen Phase mit der Ablagerung der Sedimente in die orogene, in die Bildung eines Kettengebirges, das aber die letzte, positive Phase (Landfestwerdung) nicht mehr ganz durchgemacht hat. Es ist bereits wieder in einen neuen geosynklinalen Zyklus eingetreten.

Gründe für die Deutung des atlantischen Rückens als versenktes Mesoiden-Orogen.

Wenn der atlantische Rücken ein mesoides Orogen sein soll, so muß er vor allem aus einer mesozoischen Geosynklinale hervorgegangen sein.

Hat eine solche existiert, oder gibt es Gründe, die die Existenz einer mesozoischen Geosynklinale im Gebiete des heutigen Atlantik wahrscheinlich machen?

Zwei Anschauungsreihen treten uns bezüglich des Alters des atlantischen Ozeans entgegen. Die eine Reihe spricht sich auf Grund paläogeographischer und faunistischer Erscheinungen für die Existenz eines mesozoischen Ozeans im Gebiete des heutigen Atlantik aus. So in der letzten Zeit z. B. Diener, aber auch andere.

Digitized by Google

Eine andere Gruppe von Forschern wieder verficht die gegenteilige Ansicht: Der Atlantik ist jung entstanden. Der südliche Teil ist aus dem Einbruche des äthiopisch-brasilianischen Kontinentes erst in der oberen Kreide entstanden. Der nördliche Teil des Atlantik ist dagegen etwas älter, vielleicht schon Ende der Trias entstanden, da Rhätablagerungen auf Grönland, Jurabildungen in Norwegen usw. bekannt sind.

Der mittlere Teil des Atlantik gilt fast allgemein als Geosynklinalgebiet, das die Verbindung der Tethys mit Zentralamerika herstellt.

So ist es unsere Aufgabe, speziell für den Norden und Süden des Atlantik den Geosynklinal-Charakter wahrscheinlich zu machen.

Warum hat man bisher immer für diese Gebiete Festlandsmassen angenommen? Aus dem Grunde, weil marine Ablagerungen des Mesozoikum nicht bekannt waren. Dieses negative Merkmal hat hauptsächlich Anlaß gegeben zur Annahme eines brasilianisch-äthiopischen Kontinentes. Auf beiden Seiten des Atlantik finden sich ähnliche terrestre Ablagerungen des Paläozoikum, des Mesozoikum. Auch dies war mit ein Grund für die Konstruktion dieses großen Südkontinentes der Erde in mesozoischer Zeit.

Hennig hat sich schon gegen diese Argumentation, gegen diese allgemein übliche Methode paläogeographischen Denkens ausgesprochen. In neuerer Zeit mehren sich die Stimmen in dieser Hinsicht und mit vollem Rechte.

Es ist ganz fehlerhaft, aus negativen Merkmalen so positive Schlüsse zu ziehen und die Existenz einer Kontinentalmasse zu behaupten, wo man doch in Wirklichkeit über Tausende von Quadratkilometern keine Beobachtung hat. Wissenschaftlich richtiger wäre es, hier die Unmöglichkeit, zu einem festen Resultate zu kommen, einzugestehen oder andere Methoden aufzusuchen, mit deren Hilfe vielleicht der Frage näher zu kommen wäre.

Das Fehlen echter mariner Bildungen des Mesozoikum im Umkreise des Atlantik kann zweifellos auch erklärt werden durch die Annahme, daß diese Bildungen vielleicht jung versenkt worden sind.

Denken wir uns die ganze alpine Region vom atlantischen Ozean bis etwa zum Indik versenkt, wobei noch vom Vorlande im Norden und im Süden große Streifen mitgenommen worden wären, so käme ein Bild zustande ähnlich dem, wie es heute im Atlantik und seiner Umrahmung erscheint.

Die russische und die afrikanische Tafel bildeten dann die kontinentalen Ränder. Es wäre eine Lage geschaffen, die Geologen veranlassen könnte, die beiden Kontinentalmassen miteinander zu einer Einheit zu verbinden.

Digitized by Google

Und doch wäre es verfehlt. Dieser Fehler wird aber im Falle des atlantischen Ozeans auf Grund dieser ganz falschen paläogeographischen Betrachtungsweise gemacht.

Daß es nicht richtig ist, dem Atlantik ein junges Alter zuzuschreiben, zeigen vor allem die mesozoischen Funde, die in Zentralafrika gemacht worden sind. Hier hat Hennig wieder zuerst auf die große Bedeutung dieser Funde in theoretischer Hinsicht mit vollstem Rechte hingewiesen.

Wir sehen überall in der Umrahmung des Atlantik auf der alten, auf der neuen Welt Reste mesozoischer Ablagerungen der Trias, des Jura, der Kreide, auch des Tertiär, und da ist es viel wahrscheinlicher, daß der Ozean bereits in der Trias bestanden und lange Zeit hindurch existiert hat.

Dadurch werden vor allem die Faunenbeziehungen der Trias des Nordens mit der alpinen Region leichter erklärt. Ich erinnere da an einen ganz besonders interessanten Zusammenhang.

Pseudomonotis findet sich nicht in den Alpen. Die Form aber ist aus dem Kaukasus bekannt. Sie findet sich dann auf Spitzbergen. Soll der Austausch dieser Formen nur auf dem Ostwege über den Sunda-Archipel, über Japan stattgefunden haben? Es ist doch viel einfacher, diese Formen über den Westweg, über den Atlantik miteinander in Beziehung zu bringen.

Dann: Die Gliederung der Erdoberfläche in ozeanische Becken und kontinentale Massen ist eine so tiefgehende, prinzipielle Erscheinung im Aufbaue der Erdrinde, daß man eher mit einer gewissen Konstanz dieser Großformen rechnen soll. So kommen wir dahin, für den Atlantik im Mesozoikum eine Geosynklinale anzunehmen, die N—S verlief und die mit dem zentralen Mittelmeere (Tethys) im Zusammenhange stand.

Diese Geosynklinale hat in der Trias bestanden. Die echt marinen Sedimente erreichten aber nicht mehr die inneren Teile der kontinentalen Schollen. Im Jura erfolgt eine Vergrößerung der Geosynklinale. In Transgressionen treten die Sedimente weiter in die Tafeln ein, im Norden wie im Süden. Noch größer sind dann die Transgressionen der Oberkreide, besonders die, die von der atlantischen Geosynklinale über die angrenzenden Kontinente hinweggehen.

Ist so die Existenz einer mesozoischen Geosynklinale für das Gebiet des Atlantik wahrscheinlich gemacht, so soll dann auch gezeigt werden, daß Möglichkeiten vorhanden sind, aus dem heutigen Bauplan noch den orogenen Bau zu erkennen.

Digitized by Google

Gründe für die orogene Abkunft des atlantischen Rückens.

Die lange schmale Form des Rückens spricht zweifellos für orogene Abkunft. Es gibt sonst auf der ganzen Erde keine Bauform, die sich mit der des atlantischen Rückens besser vergleichen läßt.

Zweitens ist der ganze Bau, die Anlage der Tiefen westlich und östlich des Rückens eine derartige, daß sie nur mit orogenem Bau wieder verglichen werden können. Die Mulden längs des Rückens haben bis zu einem gewissen Grade Vortiefencharakter.

Wenn der atlantische Rücken ein versenktes Orogen ist, so müßte sich irgendwo vielleicht noch eine direkte Fortsetzung finden. Die ist in der Tat vorhanden. Sie liegt hoch im Norden. Die Vereintstaaten-Kette auf Grantland ist ein Stück Mesoiden-Orogen, das unbedingt als die Fortsetzung des atlantischen angesprochen werden muß.

Das Vorland für dieses Orogen ist der kanadische Schild.

Es liegt sehr die Vermutung nahe, Spitzbergen als Teile des atlantischen Orogen anzusehen. Wichtig ist hier vor allem die Existenz von Kreide in der Fazies von Flysch. Flysch ist eine typische orogene Fazies. Wenn die Oberkreide von Spitzbergen tatsächlich Flyschfazies besitzt, so wäre damit ein außerordentlich wichtiger Beweis erbracht.

Ein anderer sehr gewichtiger Beweis ist der, daß sich auf den Inseln des nördlichen Atlantik überall junge pazifische Gesteine finden. So ist Island pazifisch (Thoroddsen), die Fär Oer-Inseln, dann Irland, Schottland. Tief im Süden des atlantischen Ozeans finden sich pazifische Gesteine auf Aszension (Renard), und zwar sind es Trachytliparite und Gabbro. Andesite kommen auf Tristan da Cunha vor.

Pazifische Gesteine sind immer nur Charaktergesteine der Orogene, und zwar die leitenden Gesteine der orogenen Phase. Nachdem der atlantische Rücken unserer Meinung nach sich bereits wieder in einem neuen Zyklus, und zwar in dessen geosyklinaler Phase sich befindet, erlöschen die pazifischen Magmen nnd die atlantischen treten an ihre Stelle.

Mit dem allgemeinen Niederbruche des Orogen sind auch große Streifen der angrenzenden kontinentalen Schollen mit in die Tiefe mitgezogen, mitgeschleppt worden.

Das sind die hauptsächlichsten Gründe, die für die orogene Natur des atlantischen Rückens sprechen. Wir werden bei Besprechung der geotektonischen Einheiten noch weitere Anhaltspunkte kennen lernen, die diese Auffassung noch weiter bekräftigen.

Digitized by Google

Der atlantische Bauplan.

Fassen wir unsere Deutungen über den Boden des atlantischen Ozeans zusammen, so könnten wir sagen: Der Bau des atlantischen Ozeans kann im allgemeinen auf eine einfache Formel zurückgeführt werden.

Der heutige Ozean liegt wahrscheinlich über einem jung versenkten Mesoiden-Orogen. Die Achse dieses Orogen ist der atlantische Rücken. Die Ränder des Ozeans bilden zum großen Teil Paläoiden und Archäiden, also von jungen Falten freie Zonen, dann alte erstarrte Tafeln.

Das Wesen des atlantischen Bauplanes liegt darin, daß das Orogen versenkt ist und das Kratogen (erstarrte Tafeln) stehen geblieben ist.

Suess hat die Eigenheit des atlantischen Baues wohl erkannt. Suess konnte aber diesen Bau noch nicht recht deuten.

Suess glaubte, daß die jungen Kettengebirge nicht in den atlantischen Bau eintreten.

So wenden sich die nördlichen und südlichen Antillen vom atlantischen Gebiete ab. So scheut sich nach der Auffassung von Suess der betische Bogen (Gibraltar) ins atlantische Reich einzutreten.

Das ist nicht richtig. Wir wissen heute, daß die betische Kordillere, der Atlas bestimmt in den Atlantik fortsetzen. Auch die Antillenbögen werden von einer Reihe von Forschern in das atlantische Gebiet fortgesetzt.

Die jungen Ketten gehen ebenso quer durch das atlantische Gebiet, wie das auch bei den alten Ketten der Fall ist. So wird allgemein die Verbindung der Appalachen quer über den Atlantik mit Europa angenommen.

Der Begriff des „atlantischen Baues“ im Sinne von Suess ist etwas zu modifizieren, den neueren Erfahrungen anzupassen. Er besteht in obigem neuen Sinne vollständig zu Recht.

Skandik und Arktik.

Skandik und Arktik bilden die Fortsetzung des atlantischen Ozeans im polaren Gebiet.

Der Skandik schaltet sich als eine bis 4000 m tiefe Mulde zwischen Island und Spitzbergen mit N—S-Streichen ein. Eine Schwelle scheidet den Arktik ab. Dieser ist nach den Forschungen von Nansen ein bis 3700 m tiefes Becken. Auffallend in dem Arktik sind die breiten 0—1000 m-Zonen, die im Norden der alten und der neuen Welt vorgelagert sind.

Digitized by Google

Die Längserstreckung der arktischen Mulde zeigt die Richtung quer über den Pol, eingepreßt zwischen den Kontinenten der alten und neuen Welt.

Die geologischen Verhältnisse zeigen im Arktik folgenden Bau der Umrahmung, soweit sich dies heute überhaupt erkennen läßt.

In Nordamerika tritt von der Mündung des Mackenzie bis nach Grantland der kanadische Schild an den Ozean heran. Dann folgt in Grantland selbst in der Vereintstaaten-Kette ein Stück eines jungen Kettengebirges. In Grönland haben wir wieder den kanadischen Schild und ein Stück Kaledoniden. In Spitzbergen zeigt sich älterer kaledonischer Bau als Fortsetzung des skandinavischen. Diesem alten Bau ist anscheinend ein jüngerer aufgeprägt worden. Die mesozoischen Schichten Spitzbergens in Verbindung mit Kreideflysch könnten auch für Mesoiden sprechen. In Franz Josefs-Land liegt eine Tafel vor, deren Untergrund nicht bekannt ist. Auf Nowaja Semlia erscheint die Fortsetzung des uralischen Baues. Im Norden Asiens tritt jedenfalls die sibirische Tafel an den Ozean heran, ausgenommen vielleicht die Taimyrhalbinsel, wo paläozoischer (mesozoischer) Kettenbau vermutet werden kann. Von der Lena-Mündung bis weit nach Osten kommen wir in das Gebiet geosynklinaler, mesozoischer und tertiärer Ablagerungen, die auf einen orogenen Bau schließen lassen. Wir sehen in dieser Zone eine Fortsetzung der mesoiden Ostumrahmung Asiens. Der Norden des Bering-Meeres ist auf der asiatischen und amerikanischen Seite schwer zu deuten. Auf Kap Lisburn finden sich Juraschichten von Karbon überschoben. Die Bewegung geht nach Norden. Der mesoiden Region von Alaska und der Anadyrregion liegt möglicherweise ein Streifen alten paläozoischen Baues vor.

Die tektonische Deutung des Arktik basiert auf der Tatsache, daß im Mesozoikum offenes Meer vorhanden war, das die Verbindung herstellte von der Lena über die Neusibirischen Inseln nach Spitzbergen und nach Grantland. Dieses Meer ist unserer Auffassung nach ein typisches Geosynklinalgebiet, das über Spitzbergen, Island mit dem Geosynklinalgebiet der Tethys zusammenhing. Aus dieser Geosynklinale ist ein Orogen geworden, und eine orogene Zone zieht von den Neusibirischen Inseln quer durch den Arktik nach Spitzbergen und auf Grantland. Die Vereintstaaten-Kette ist ein winziger Rest dieser polaren orogenen Region. Aber ihre Existenz wird durch die Vereintstaaten-Kette klar bewiesen. Die Vereintstaaten-Kette kann nicht als ein solcher isolierter Rest, wie sie eben heute ist, entstanden sein. Sie muß eine Fortsetzung gehabt haben. Diese ist versenkt. Vielleicht werden neuere Forschungen in dieser Region Aufschlüsse bringen. Auch die Morphologie des Arktik kann dazu beitragen.

Pazifische Gesteine werden merkwürdigerweise von der Insel Kusjkin angegeben, die vor der Mündung des Jenissei liegt. Nach

Digitized by Google

Goldschmidt finden sich neben atlantischen Trachydoleriten auf Jan Mayen häufig pazifische Basalte, desgleichen auch auf Grönland, König Karl-Land, Franz Josef-Land.

Diese Vorkommen sind allerdings sehr merkwürdig und deuten zweifellos auf ein Orogen in nächster Nähe.

Auch im Paläozoikum war hier ein Geosynklinalgebiet vorhanden, das mit dem mesozoischen fast zusammenfällt. Dafür sprechen die paläozoischen Bauten auf Skandinavien, auf Nowaja Semlia, auf Grönland u. a.

Wie in den anderen Ozeanen sehen wir in der Umrahmung des Arktik neben der alten Tafel alte und junge Kettengebirge auftreten. Mit Riasküsten treten sie ans Meer heran.

Der atlantische Ozean und der arktische zeigen relativ gleichen Bau. Es ist der atlantische Bauplan.

Der Indik.

Er ist ebenfalls nach atlantischem Plane gebaut. Alte Massen treten in Indien, Australien, in Arabien, in Afrika weithin an das Meer heran. Nur im Kapgebirge und möglicherweise im zentralen Ostafrika treten paläozoische Bauten auf. In Australien finden sich Archäiden, ebenso auch in der Antarktis. Nur im NO bildet der Sundabogen eine mesoide Umrahmung.

Die Tiefenverhältnisse.

Zwischen dem Sundabogen und Australien schaltet sich eine 5000 bis 6000 m erreichende große Mulde ein, die wir die westaustralische Mulde nennen. Sie streicht mit ihrer Längsachse NW—SO. Gegen den Sundabogen zu schalten sich die Vortiefen des Sundagrabens ein. In der Mitte der Mulde stellen sich Tiefen von 6000—7000 m ein.

Die südaustralische Mulde liegt dem Kontinente im Süden als eine schmale W—O streichende Tiefenfurche vor.

Im Osten des Somalilandes zieht sich die Somalimulde hin. Streichen N—S, Tiefe 5000—6000 m. Im Süden umgürtet die madagassische Mulde Madagaskar. Noch weiter im Süden liegt vor dem Kapgebirge die Kapmulde. Eine kleinere Mulde liegt nördlich der Kerguelen.

Rücken.

Auffallende Rückenregionen sind die Schwellen, auf denen die Prinz Eduard-Inseln, die Crozet-Inseln liegen (Crozetschwelle). Diese erheben sich zu submarinen Höhen, die bis 1000 m ansteigen. Die Schwelle zeigt O—W-Verlauf. Die Kerguelen, die Inseln St. Paul und Amsterdam liegen auf einer großen Schwelle. Der Kerguelen-Rücken streicht NW—SO. Diese Schwellen erheben sich aus Tiefen

Digitized by Google

von 2000—3000 m. Eine Furche von 2000—3000 m Tiefe läßt sich parallel dem antarktischen Kontinentalrande im SO-Indik auf weite Strecken mit W—O-Streichen erkennen. Hier, im SO des Indik, zeigen sich nirgends zurzeit kompliziertere Bodenformen, ganz ähnlich wie in dem Arktik. Offenbar sind diese ozeanischen Böden noch allzu wenig bekannt.

Kompliziertes Relief zeigt dagegen der zentrale Teil des indischen Ozeans. Hier lassen sich zwei submarine Rücken erkennen.

Der eine ist der Chagos-Rücken. Auf ihm liegen die Chagos-Inseln, dann ihre nördliche Fortsetzung, die Malediven und die Lakediven. Dieser Rücken erhebt sich aus Tiefen von 4000 m und bildet weit hinziehende Koralleninseln. Die Länge dieses Rückens beträgt 25 Breitegrade.

Dieser Rücken ist aber noch bis auf 20° südlicher Breite zu verfolgen.

Westlich von dieser Schwelle läuft fast parallel, ebenfalls N—S streichend, ein zweiter Rücken. Auf ihm stehen die Seychellen und die Maskarenen.

Tektonik.

Der westliche Teil des indischen Ozeans zeigt eine ganz bestimmte tektonische Anlage, deren Charakterzug N—S streichende Linien sind und eine Anordnung der Tiefen- und Höhenlinien parallel der ostafrikanischen Küste.

Von dem afrikanischen Graben bis weit hinein in den Ozean, bis an den Chagos-Maskarenen-Rücken zeigt sich dieser große Zug der Tektonik.

Anders ist der Bau des SO-Indik. Hier sind einfache Verhältnissse. Vor dem Sundabogen zeigt die westaustralische Mulde mit ihrem NW—SO-Streichen Abhängigkeit vom Sundabogen.

Im West-Indik haben wir N—S streichende Linien, im NO-Indik dagegen NW—SO-Richtung, im SO-Indik OW-Streichen.

Deutung.

Wie sollen diese Verhältnisse gedeutet werden? Die geologische Geschichte zeigt uns den Indik als ein im Mesozoikum bereits bestehendes Meeresgebiet. Haug zeichnet eine mesozoische Geosynklinale, die von Indien nach Südafrika durch die Straße von Mozambique zieht. Diener betrachtet den Indik als offenes Weltmeer, bereits in der Trias existierend. Für das Paläozoikum wird hier meist eine Landmasse, das Gondwanaland, angenommen.

Nach allem scheint sicher zu sein, daß man es im Indik mit einem Geosynklinalgebiet im Mesozoikum zu tun hat. Nur fragt es sich, wo

Digitized by Google

die mesozoische Geosynklinale anzunehmen ist. Trias und Jura finden sich marin auf Madagaskar, Jura und Kreide besonders auf dem afrikanischen Kontinente.

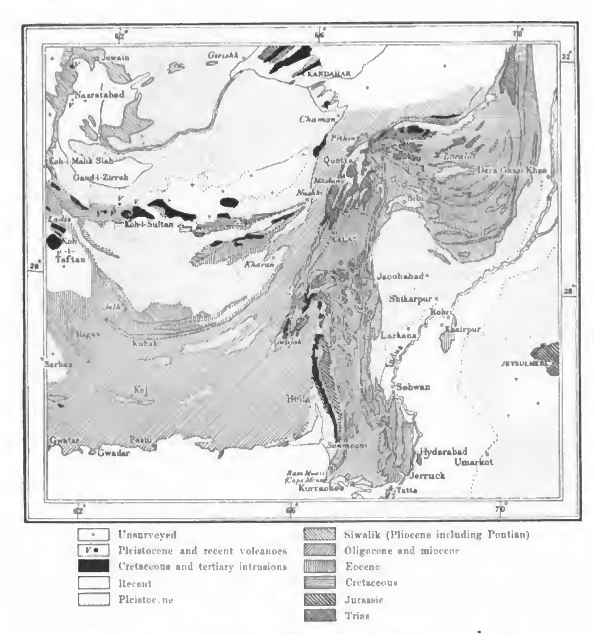


Fig. 39. Geological Sketch of Baluchistan. Scale: 1 inch to 96 miles. Nach E. W. Vredenburg, geol. Surv. Ind. Rec. vol. XXXVIII.

Die alpine Kette auf Oman bricht mit einer Riasküste ab, ebenso die Indusketten. Bisher hat man diese Ketten miteinander verbunden. Es gibt noch eine andere Möglichkeit der Deutung.

Die Oman- und Indusketten stehen nicht unmittelbar in Zusammenhang, sondern sind getrennt und haben eine Fortsetzung nach Süden in den indischen Ozean. (Fig. 39.)

Digitized by Google

In diesem Falle wären die heute noch sichtbaren Schwellen des Chagos- und des Maskarenen-Rückens die Fortsetzung der Oman- und der Indusketten.

Die Geosynklinale ist nicht über die Straße von Mozambique, sondern östlich davon, in der genannten Rückenregion anzunehmen.

Von dieser Geosynklinale gingen die epikontinentalen Transgressionen über Madagaskar auf den afrikanischen Kontinent hinweg.

Was gewinnen wir durch diese Annahme?

Die Koralleninseln der Lakediven-, Malediven-, der Chagos-Inseln, sind die Gipfel von Randketten, die die Fortsetzung der Indusketten bilden. Diese versenkten Randketten zeigen eine leichte Bogenform nach Osten. Ihr Vorland wäre die indische Masse. Auf diese müßten sie bewegt sein.

Die Maskarenschwelle könnte als ein Rest von Randketten gedeutet werden, deren Vorland Madagaskar-Afrika ist. In diesem Falle wären diese Ketten die Fortsetzung der Ketten von Oman, also des afrikanischen Stammes des alpinen Orogen.

Merkwürdig ist, daß der Chagos- und der Maskarenen-Rücken die orogene Breite zeigen, d. i. durchschnittlich gegen 1000 km Abstand.

Bei dieser Annahme hätten wir in dieser N—S streichenden Bückenzone ein versunkenes Orogen vor uns von mesozoisch-tertiärem Alter. Die Mulden im Westen erscheinen dann als schwache Vortiefen. Der Ausläufer der westaustralischen Mulde legt sich an den Chagos-Rücken an, bleibt aber außerhalb dieser Region. Auch noch im Süden legt sich eine Mulde mit NO—SW-Streichen an die Ostseite des angenommenen Orogen wie eine schwache Vortiefe.

Dieses supponierte Orogen hätte über die Crozetschwelle seine Fortsetzung und müßte im Westen mit dem atlantischen Rücken im Zusammenhang sein.

In diesem versenkten Orogen finden sich genau so wie im Atlantik noch auf einzelnen Inseln Charaktergesteine des Orogen. Es sind pazifische Gesteine, die sich auf St. Paul, auf Bourbon (Réunion) und auf den Seychellen finden. Nach Stark sind auf St. Paul mehr intermediäre Typen, neben denen aber auch Augit-Andesite angegeben werden. Jüngere Gesteine sind offenbar die Nephelin-Tephrite. Von den Seychellen werden pazifische Tiefen- und Ganggesteine angegeben (Bauer). Auf Bourbon. sollen sich junge pazifische Effusiva finden (Drasche und Velain).

Wir können hier gleich der Vollständigkeit halber anfügen, daß wir auch an eine Fortsetzung des Kettengebirges von Neuseeland im Süden von Australien denken und an seine Verbindung mit dem supponierten Orogen des indischen Ozeans.

Demnach wären im Mesozoikum Australien, Afrika und die Antarktis durch Geosynklinalgebiete ganz geschieden gewesen. Die allgemeinen Streichrichtungen dieser Geosynklinalen wären für die Südaustralische Geosynklinale W—O, für die indische N—S.

Aus diesen Geosynklinalen sind in der Folgezeit orogene Zonen geworden. Kettengebirge sind entstanden, aber wieder versunken. Die eigentliche orogene Phase der Geosynklinale hat kurz gedauert. Das Orogen ist wieder von einem geosynklinalen Zyklus abgelöst werden.

Von den Ketten wären nur geringe Reste in den Rücken der Chagos, der Maskarenen stehen geblieben. Alle anderen Teile des Gebirges sind fast spurlos verschwunden.

Die großen morphologischen Züge des indischen Ozeans zeigen noch die allgemeine Abhängigkeit von den orogenen Zonen, die zwischen den drei starren Massen von Afrika, Australien und Antarktis aus den mesozoischen Geosynklinalen ausgepreßt worden sind.

Unter dieser Annahme wäre die Tektonik des Indischen Ozeans verständlich, insbesondere die tektonischen Linien vom ostafrikanischen Graben an bis an den Chagosrücken. In dieser Zone liegen alle Linien in einem Kraftfelde. Wir wissen aber, daß die Entstehung dieser Linien vom Orogen ausgeht, mit der Auspressung des Orogen zusammenhängt. Vom Orogen aus wandert die Deformierung der Erdrinde in das kratogene Feld des Vorlandes. Die ostafrikanische Grabenreihe wäre in diesem Sinne eine Bewegungswelle, die vom Orogen ausgestrahlt ist.

Der Pazifik.

Überaus komplizierte Strukturen lassen sich im Gebiete des pazifischen Ozeans erkennen.

Der auffallendste Zug ist die Kettenumrahmung des pazifischen Ozeans. Die Ketten ziehen im geschlossenen Zuge als Einheit von Feuerland durch die Anden nach Mittelamerika, durch den Westen Nordamerikas, setzen auf die Aleuten fort. Im Anadyrland erscheint derselbe Kettenbau wie in Alaska. Die Ketten ziehen über die Kurilen nach Japan, über die Riu-Kiu-Inseln auf die Philippinen. Über Neuguinea verfolgen wir die Ketten in die Inselzüge nach Neukaledonien, nach Neuseeland und von hier wird neuerdings eine Fortsetzung über die Antarktis nach Grahamland (O. Wilckens) angenommen.

So schließt sich ein Ring junger tertiärer Kettengebirge um den pazifischen Ozean, ein Bauplan, der eine Erdhälfte umfaßt: Suess hat diesen Bau den pazifischen Bau (pazifische Erdhälfte) genannt.

Digitized by Google

Morphologie.

Der ganze Pazifik scheidet sich durch die NW—SO streichende polynesische Inselwelt, die Ozeaniden, in eine nördliche und eine südliche Hälfte. Die nördliche scheint einen komplizierteren Bau aufzuweisen als die südliche.

Gemeinsam für beide ist die eigenartige Vortiefenbildung, die wir an der Grenze des Ozeanbodens und der Ketten finden.

So legen sich im Nordpazifik vor die Alëuten Vortiefen, bis 8000 m tief. An diese Alëutenvortiefe kettet sich weiter die japanische Vortiefe (Tuskarora Tiefe). Weitere Gräben liegen vor den Riu-Kiu Inseln, dann vor den Philippinen. Weit draußen im Ozean stellen sich vor den Marianen Gräben ein, dann vor den Karolinen. Hier findet sich die größte bisher bekannte Tiefe mit 9636 m.

Der Nordpazifik weist auf der amerikanischen Seite dagegen nicht derartige Anordnung auf.

Der Südpazifik zeigt in der Tonga-, Kermandeztiefe wieder eine scharfe Scheide zwischen den Ketten und den Ozeanböden. Auf der antarktischen Seite fehlen derartige Gräben. Dagegen stellen sich längs der Küste von Südamerika große Tiefen ein. Diese aber haben wir, wie früher schon gesagt wurde, nicht als echte Vortiefen zu betrachten, sondern als Zwischentiefen.

Der Südpazifik zeigt einen einfacheren Bau. Vor die Antarktis legt sich die westpazifische Mulde. An die australische Gebirgskette der Mesoiden schließt sich die große neuseeländische (südpazifische) Mulde, 5000—6000 m tief. Die Hauptfläche des Ozeans bildet ein Becken von 4000—5000 m. Eine breite Schwelle dehnt sich um die Oster-Inseln, die Osterschwelle. Sie gibt einen breiten Ast gegen Südamerika ab, einen anderen Ast nach Süden.

Das ganze nordpazifische Becken konnte wieder durch die Hawaischwelle in die eigentliche nordpazifische und zentralpazifische Mulde geteilt werden. Diese nordpazifische Mulde wird gegen Westen zu durch die Koralleninseln der Karolinen-, der Marshallgruppe abgegrenzt. An dieser Grenzlinie stellen sich Gräben ein, der Karolinengraben mit SW—NO - Sreichen und der Graben, der den Marshallinseln im Norden vorliegt. Auch er streicht SW—NO. Diese Streichrichtung erfährt in den Gilbert-, Ellice-Inseln eine Umbiegung nach SO, eine Richtung, die auch im Hawairücken ausgesprochen ist. Die polynesischen Inseln streichen in der Richtung NW—SO durch den Pazifik. Von der Osterinsel stellt sich eine andere Streichrichtung in einer Schwelle ein, auf der die Galapagos-Inseln liegen (Galapagos-Schwelle). Hier ist ein Streichen gegen N vorhanden.

Digitized by Google

Die Kettenregionen der Mesoiden in der Umrahmung von Japan bis nach Neuseeland zeigen einen überaus komplizierten Bau.

Dem Kontinente legen sich in Ostasien von Borneo bis nach Kamtschatka flache Meeresbecken, 3000 m Tiefe vor, das südchinesische Meer, das gelbe Meer. Das erstere erreicht auch Tiefen über 5000 m. Eine ausgesprochene Streichrichtung zeigt sich in der Anordnung der Tiefenlinien. Die Mulden streichen wie die Ketten nach NO.

Den Ketten selbst liegen im Osten Gräben vor, so in Japan, in den Riu-Kiu-Inseln, vor den Philippinen. Aber auch vor den Marianen stellen sich Gräben ein. Zwischen den Marianen und den Philippinen schaltet sich eine breite 5000—6000 m tiefe Mulde ein. In ihr liegt ziemlich zentral eine Tiefe von 6000—7000 m. Im Süden stellen sich die Gräben von Gap und Palau ein.

Von Neuguinea bis Neuseeland sind die Mesoiden weitgehend versenkt. Submarine Rücken sind dann vorhanden. Zwischen ihnen liegen tiefe Becken. Ein breiter Rücken zieht sich von Neukaledonien bis nach Neuseeland. Vor ihm liegt gegen den australischen Kontinent ein tiefes Becken, das auf 5000—6000 m absinkt. Zwei tiefe Gräben finden sich: Der eine schaltet sich zwischen Neuguinea und dem Bismarck-Archipel (Salomon-Inseln) ein, der andere vor den Neu-Hebriden.

Die allgemeinen tektonischen Züge.

Im Nordpazifik bilden die Ketten Nordamerikas, der Alëuten, der japanischen Inseln eine geologisch klare Umrahmung. Gräben legen sich vor die Ketten. Der Nordpazifik wird so zum Vorland für diese Ketten. Alle die Ketten, soweit sie bekannt sind, zeigen die gesetzmäßige Bewegung des Orogen, d. i. auf den Pazifik. Wir haben diesen Stamm deshalb den pazifischen Stamm genannt. So sind die Pazifik-Ranges auf den Ozean bewegt, von San Franzisko bis zum Eliasgebirge. Auch für Japan ist die Bewegung auf den Pazifik wahrscheinlich. Dies zeigen schon die auf den Ozean vordringenden Bögen und die Vortiefen.

Die Südabgrenzung des Nordpazifik geben die Ozeaniden, die NW—SO streichenden polynesischen Inseln: diese NW—SO-Richtung ist eine wichtige tektonische Linie im Nordpazifik. Im Hawai-Rücken sehen wir dieselbe Richtung. Sie tritt auch in der Marshall-, Gilbert- und Ellice-Inselgruppe hervor. Die letzteren Inseln bilden im Verein mit den Marianen einen äußeren Bogen vor dem inneren, der durch die echte mesoide Region (Philippinen—Neuguinea) gegeben ist. Dazwischen lagert sich die große Philippinen-Mulde (mit den Gräben von Gap usw.). Diese Mulde streicht SO gegen die Fidji-Inseln fort. Das öst-

Digitized by Google

liche Becken ist durchschnittlich nicht so tief wie das westliche, von dem es durch einen Querrücken getrennt ist.

Den Nordpazifik beherrscht besonders in der östlichen Hälfte ein Streichen NW—SO. Dies kommt in den Inselreihen, in der Anlage der Tiefenlinie klar zum Ausdruck.

Es ist so, wie wenn dieser Teil in einem Kraftfelde läge, das zwischen SW—NO wirkenden Kräften eingespannt wäre. Im Südpazifik tritt dies nicht hervor.

Deutung.

Das Gros des nord- und südpazifischen Beckens bildet zweifellos ein Vorland für die den Ozean umrahmenden Ketten. Für diese Ketten muß auf dem Boden des Pazifik ein starres Vorland liegen, sonst hätten die Ketten nicht entstehen können. Dies wurde schon früher bei Besprechung der Anden und der Mesoiden Nordamerikas auseinandergesetzt. Die Entstehung der Ketten ist bei der heutigen Morphologie nicht recht denkbar. Wäre der pazifische Ozean vorhanden gewesen, so wären die Kettengebirge wahrscheinlich einseitig in den Ozean überfaltet worden. Das ist nicht der Fall. Die Anden sind nach Osten auf Brasilien bewegt, die Rocky Mts. auf den kanadischen Schild. Wir haben deshalb auf eine junge Versenkung im Gebiete des heutigen Pazifik geschlossen.

Demnach müßte für das Mesozoikum eine Kontinentalmasse angenommen werden. Dies ist rein hypothetisch, wie schon Haug gesagt hat. Aber diese Annahme wird aus tektonischen Gründen notwendig. Im übrigen haben sich auch andere Forscher aus biologischen Momenten heraus für die Existenz von Kontinentalmassen ausgesprochen.

Hooker nahm bereits 1846 Land im Pazifik an. Hutton meinte 1884, daß eine weite Landbrücke im Mittelpazifik existierte zwischen Australien und Südamerrika. Hedley fand 1900 auf Grund biologischer Studien eine Verbindung notwendig zwischen Neuseeland, den Fidji-Inseln und Neuguinea.

Wichmann und Woolnough glauben, daß die Fidji-Inseln Teile eines alten Kontinentes sind, der im Paläozoikum, im Mesozoikum existierte und der erst im Känozoikum versenkt worden ist.

Auch Burckhardt sprach sich für die Möglichkeit eines pazifischen Kontinentes westlich der südlichen Anden aus.

Auf der anderen Seite haben sich Wallace und eine Reihe von Forschern für die Existenz eines alten pazifischen Ozeans ausgesprochen.

Welche Deutung den verschiedenen Höhenlinien im Pazifik selbst zukommt, ist schwer zu sagen. Der Zug, der sich von Japan loslöst

Digitized by Google

und über die Marianen-, Karolinen-, die Marshall-, Ellice-Inseln fortsetzt, steht als ein äußerer Bogen zweifellos in Abhängigkeit von den Mesoiden. Diesem gehören anscheinend an: die Philippinen, Neuguinea, der Bismarck-Archipel, die Salomon-Inseln, Neukaledonien, die Hebriden und Neuguinea.

Auf den Marianen sind grüne Gesteine und Nummulitenkalk bekannt geworden.

Ist dieser äußere Bogen ein Teil der mesoiden Region oder nur der aufgeschürfte Vorland-Untergrund? Die Breite zwischen diesem äußeren und dem inneren Bogen erreicht über 2000 km. Das ist die doppelte orogene Breite. Sollte der äußere Bogen eine Randkette des mesoiden Orogen sein, dessen zweiter Stamm von einem Bogen gebildet wird? Dieser innere Bogen hätte von Neuguinea bis Neuseeland Australien zum Vorland, der äußere das nordpazifische Becken. Dann wäre die Philippinenmulde und ihre Fortsetzung gegen SO nur eine tief versenkte Zwischengebirgsmasse. Das ganze Orogen wäre noch nicht so weit zusammengepreßt, als dies sonst der Fall ist.

In dieser Region läge ein mesoides Orogen sozusagen in halbfertigem Zustande vor. Neuguinea und der Bismarck-Archipel, die Salomon-Inseln zeigen 1000 km Abstand; ähnlich auch Neukaledonien und die Hebriden. Dies ist die orogene Breite. Werden durch diese Inseln die Randketten des Orogen gezeichnet, so kann der äußere Bogen nicht zum Orogen direkt gezählt werden. In dem Falle wäre in dem ganzen äußeren Bogen ein aufgeschürfter Vorlanduntergrund zu sehen, der bereits stark in das orogene Bewegungsfeld mit einbezogen ist, wie dies in den zentralasiatischen Ketten vor dem Pamir- und Kuenlun-System der Fall ist.

Trifft die zweite Annahme zu, dann wäre in dem Zuge Bismarck-Archipel—Salomon-Inseln und Hebriden eine Randkette anzunehmen, deren Vorland das pazifische Becken ist. Die Bewegung müßte hier also nach außen, nach NO, auf den Pazifik gerichtet sein.

Der Hawai-Rücken ist vielleicht als ein stehengebliebener zentraler Kern der Kontinentalmasse anzusprechen. Es ist ein Horst, der in die nordpazifische Richtung eingestellt, der der allgemeinen Versenkung entgangen ist. Denken wir uns die Umgebung des Gebirges von Tibesti versenkt, dieses Gebirge allein erhalten (vielleicht im Norden davon auch den alpinen Bogen), so entsteht ein Bild, das dem Hawai-Typus gleicht: Vulkanischer Zug mit NW—SO-Streichen.

Die zentralen polynesischen Inseln durchqueren mit durchschnittlich orogener Breite in SO-Richtung den Ozean. Es sind Koralleninseln, z. T. vulkanische Inseln. Von einer gibt Suess mesozoischen Kalk (?) an. Wäre das tatsächlich der Fall, so könnte dieser Kalk von einem Geosynklinalgebiet stammen, das zwischen dem nordpazifischen

Digitized by Google

und dem südpazifischen Kontinentalgebiet durchzuziehen wäre, die Verbindung herstellend zwischen den Geosynklinalgebieten des Sunda-Archipels und dem vor Mittelamerika. Dieses Geosynklinalgebiet ist hypothetisch, erhält aber einige Stützen dadurch, daß eben dann die polynesischen Inseln als junge orogene Zonen aufgefaßt werden können. Dieses Orogen wäre zwischen der nordpazifischen und der südpazifischen Kontinentalmasse ausgepreßt worden. Dann wären die NW—SO-Linien des Pazifik verständlich als Linien, die vom Orogen ausgehen.

Pazifische Gesteine der noch so wenig bekannten polynesischen Inseln finden sich z. B. auf Tubuai.

Das polynesische Orogen, bezw. die Geosynklinale, ist deswegen von Interesse, weil, wenn es existierte, ein äquatoriales Mittelmeer um die ganze Erde vorhanden gewesen wäre. Aus diesem Mittelmeere sind die mediterranen Alpen vom Atlas an bis auf die Hebriden (als ein Zug) entstanden und noch vorhanden. Teile dieses äquatorialen Orogen sehen wir heute in Mittelamerika, in den Antillen. Das Verbindungsstück von hier (über Ecuador) zu den Hebriden wäre eingebrochen. Die polynesischen Inseln bilden die Gipfelregionen dieses Orogen.

Dann wäre um die ganze Erde ein Gebirgszug vorhanden gewesen, der aus dem äquatorialen mesozoischen Geosynklinalgebiet hervorgegangen ist. Dieser Gebirgszug hat aber eine bestimmte Deformation erfahren. In den Alpen ist er bis 40° im großen Bogen als ganzes gegen Norden abgebogen. In den polynesischen Inseln ist er um den gleichen Betrag ungefähr nach Süden gedrückt worden, während im Sunda-Archipel und in Mittelamerika diese Ketten heute noch die äquatoriale Lage beibehalten haben.

Wir wollen diese Erscheinungen nur festhalten und auf ihre Diskussion später eingehen.

Digitized by Google

IX. Die geotektonischen Einheiten.

Allgemeines.

Bei der Betrachtung des Baues der Erde erkennt man im Antlitz unseres Planeten ganz gesetzmäßige Züge. Gewisse große geotektonische Einheiten treten heraus. Zweifellos liegt dem Ganzen ein bestimmtes genetisches Prinzip zugrunde.

Es zeigt sich die Erscheinung, daß die Kontinentalmassen von großen allgemeinen Störungszonen ringförmig umgeben werden. Die innersten Teile der Kontinentalmassen haben relativ ruhigen Bau. Gegen den orogenen Ring zu werden die Bewegungen allgemeiner und heftiger. Die ganze Morphologie und Tektonik einer Kontinentalmasse samt ihrer Umrahmung erscheinen in vollständiger gesetzmäßiger Abhängigkeit von diesen Ringen.

Die Zonen, von denen die Bewegungen scheinbar ausstrahlen, sind zweifellos orogenetische Zonen. Das kann man in vielen Fällen erkennen. Der ganze rezente Bau der Erde macht den Eindruck, wie wenn er von dem Bauplane dieser großen geotektonischen Einheiten beherrscht würde.

Eurasien.

Europa und Asien bilden tektonisch eine Einheit, die Suess als Eurasien bezeichnet hat. Suess hat den eurasiatischen Bauplan noch auf Amerika übertragen. Wir können uns hier dieser Ansicht von Suess nicht anschließen und beschränken die Bezeichnung Eurasien auf Europa und Asien, soweit sie innerhalb des großen orogenen Ringes liegen. Gewisse Teile von Asien, wie Indien, gehören nicht zu Eurasien, sondern einer anderen Einheit an.

Der orogene Ring.

Ein gewaltiger orogener Ring der Mesoiden, z. T. zu schneebedeckten Hochgebirgen aufgewölbt, z. T. weitgehend zertrümmert und versenkt, läßt sich als eine einheitliche, fast ununterbrochene Zone von Gibraltar, der äußersten Südwestecke von Eurasien, über den Sundaarchipel bis an die Lenamündung, hoch oben im NO von Asien, verfolgen.

Es ist die Zone der jungen Kettengebirge, die seit langer Zeit als einheitliche Zone aufgefaßt worden ist und unserer Meinung nach über den Arktik und den Atlantik weiter verfolgt werden kann, so daß der Ring vollständig geschlossen wäre.

Digitized by Google

Es wurde früher darauf hingewiesen, daß wir im Gebiet des Arktik und des Atlantik für das Mesozoikum ein Geosynklinalgebiet anzunehmen haben, also ein Weltmeer rings um die Scholle Eurasien herum. Dieses Meer ist z. T. in gewissen Zeiten in epikontinentalen Transgressionen über den Kontinent hinweggegangen. Große Teile des Kontinentes, besonders in Asien — das Angaraland — bildeten dagegen eine echte kontinentale Masse.

Aus diesem Ozean, rings um Eurasien, sind Geosynklinalen, dann im weiteren Zyklus Orogene hervorgegangen. Diese Orogene sind in den jungen Ketten der Süd- und Ostumrahmung von Eurasien noch heute sichtbar. Im Atlantik glauben wir sie im atlantischen Rücken zu sehen. Im Arktik ist das Orogen fast spurlos verschwunden. Reste sind wohl da, diese aber von größter Wichtigkeit. So die geosynklinalen mesozoischen Bildungen auf den Neusibirischen Inseln, auf Spitzbergen, vor allem aber die Existenz der Vereintstaatenkette.

Dieser orogene Ring umschließt also ein mesoides Kratogen — Eurasien — das, wie wir gesehen haben, selbst einen komplizierten Aufbau zeigt. Es besteht aus

Archäiden: Die russische Tafel, die sibirische Tafel, die sinische Masse.

Proteroiden: In Finnland, Sibirien.

Paläiden: Die Kaledoniden, die variszischen Ketten in Deutschland, in Frankreich, in Spanien, die Uraliden, die Altaiden, das Nanschansystem u. a.

Die Leitlinien im Westen Europas.

Der atlantische Rücken zieht N—S. Die Küsten Europas zeigen vom Nordkap bis nach Spanien N—S-Linien. Das Kaledonische Gebirge zeigt, neubelebt, alten N—S verlaufenden Bau. Die flache See der Ostsee zieht sich im bottnischen Golf tief von Süden gegen Norden in den Kontinentalleib hinein, wie wenn sie eine flache N—S laufende Wanne (Synkline) wäre, parallel der jungen N—S laufenden Erhebung Skandinaviens.

Die heutigen Begrenzungslinien des Londoner Beckens laufen N—S. Die Längserstreckung des Pariser Beckens zeigt N—S-Richtung. Der rheinische Graben läßt sich im Schwarzwald bis nach Hessen in N—S-Richtung verfolgen. Die Längsstreckung der alten Massive zu beiden Seiten des Grabens verläuft gegen N. Der Graben hat vielleicht hoch im Norden im Graben von Kristiania sein Gegenstück. Vor Norwegen legt sich eine N—S laufende Tiefenrinne.

Zusammendrückungen der Alpen in W—O-Richtungen werden angenommen. (Rhätische Bögen.)

Digitized by Google

Eine ganze Reihe N—S laufender Dislokationen lassen sich im Westen, im Norden Europas aufzeigen. Das ist die atlantische Richtung.

Die Leitlinien im Süden Europas.

Die Beherrscherin des Südens Europas ist die alpine Region mit ihrem W—O-Verlaufe im allgemeinen. Von der betischen Kordillere bis zum Kaukasus läßt sich überall in den Alpen in Summe ost-westliches Verlaufen der großen Schichtenzüge erkennen, mögen auch im einzelnen sekundäre Richtungen entstehen.

Die Gewalt der alpinen mediterranen Leitlinien läßt sich weit im Vorlande in Europa erkennen. Die alten Massen des französischen Zentralplateau, des Schwarzwald, der Vogesen, der böhmischen Masse erscheinen in ihrem Auftreten in kausalem Zusammenhange mit den Alpen.

Die Molassezone folgt als Einheit den Alpen von der Rhone bis zum Schwarzen Meere. Die Grenzlinie der Juraschichten streicht vom Schwarzwald gegen NO, gegen die böhmische Masse. Die alten herzynischen Richtungen werden im Ansturme der alpinen Bewegungen wieder erweckt. Die norddeutsche Tiefebene zeigt mit ihrem Verlaufe von NW—SO (gegen Polen), in ihrer tieferen Tektonik Abhängigkeit von alpinen Linien.

Die Karpinskischen Linien mit ihrem NW-Verlaufe sind Ausläufer mediterraner Linien auf altem Boden.

Vom Süden Europas gehen W—O streichende Bewegungswellen aus, tief in den alten Bau der Tafel hinein. Diese Leitlinien des alpinen Orogen sind die mediterranen Linien.

Die Verbindung der atlantischen und der mediterranen Linien.

Wo diese zwei Hauptrichtungen sich treffen, entstehen Bewegungslinien, die zwischen den beiden großen Hauptbewegungszonen zu vermitteln suchen. Die beiden Linien suchen sich auszugleichen, ineinander überzugehen.

Solche Richtungen finden wir tatsächlich im Aufbaue Europas.

Die Karpinskischen Linien sind im NW keine reinen alpinen Ausläufer mehr, sondern lenken schon gegen die atlantische Richtung ein. Die Richtung des Rheingrabens stellt sich bis zu einem gewissen Grade bereits vermittelnd ein. Der Scheitel liegt im SW und läuft in Linien aus gegen NO. Die Molassezone läuft von der Rhone um das französische Zentralplateau im Süden herum und verbindet sich mit der Miozänzone der Garonne. Das französische Zentralplateau ist so bis zu einem gewissen Grade ein Angelpunkt, der Scheitel, um den

Digitized by Google

im Süden die alpinen Ketten herumziehen, von der mediterranen Richtung in die atlantische einlenkend. Vom Zentralplateau, dessen Ostseite in seinem Baue ganz von alpinen Linien beherrscht wird, strahlen gegen NW wichtige Linien gegen die Bretagne, gegen die Normandie, wieder einlenkend gleichsam in die atlantische Richtung.

Der Südwesten Europas macht in seinem tektonischen Aufbaue den Eindruck, wie wenn der junge Bau entstanden wäre im Kampfe der mediterranen Richtung mit der atlantischen, wobei das französische Zentralplateau gleichsam der Scheitel ist für die beiden Richtungen. Nicht zufällig findet sich hier relativ reicher Vulkanismus.

Die Leitlinien im Süden Asiens.

Vom Kaukasus bis zum Sundaarchipel verfolgen wir das mediterrane Orogen als Einheit mit W—O-Verlaufe. Im Orogen selbst zeigen alle großen Linien ihre vollste Abhängigkeit vom allgemeinen W—O-Bau. Alle Ketten stellen sich in diese allgemeine Richtung ein.

Die mediterranen Bewegungswellen drängen in Zentralasien auf altem paläozoischem Boden weit gegen Norden vor. Sie sind sogar noch in den Archäiden am Baikalsee zu erkennen.

W—O gerichtete Dislokationen lassen sich weithin in diesem Teile Asiens erkennen. Es ist die mediterrane Richtung.

Die Leitlinien im Osten Asiens.

Der ganze Osten Asiens vom Süden an bis hoch hinauf in den Norden wird von Leitlinien beherrscht, die im allgemeinen parallel laufen. Diese Linien zeigen sich von den Marianen bis tief in den Kontinent hinein.

Hieher gehören die Inselzüge des Ostens von Asien, dann die Gebirgszüge und Dislokationen, die der Küste folgen. Der Typus dieses Baues ist etwa der große Chingan. Diese NO-Richtung erkennt man noch in Transbaikalien, in den Gebirgszügen, die der unteren Lena folgen.

Die Hauptrichtung des Baues im Osten Asiens wollen wir vielleicht die (ostasiatische) pazifische Richtung nennen.

Die Verbindung der mediterranen und der pazifischen Richtung.

Das mediterrane Orogen setzt im großen Sundabogen über Borneo in die japanische Inselreihe fort, also in die pazifische Richtung. Das ist der äußere Verbindungsbogen.

Wir kennen aber auch einen inneren Bogen, der tief im Kontinente die Ausläufer der mediterranen Linien mit denen der ostasiatischen Richtung verbindet. Das ist der baikalische Bogen. Er ist seit Tscherski bekannt. Die sajanischen Ketten schwenken um den

Digitized by Google

Baikalsee herum und setzen in den Ketten von Transbaikalien fort. Die NW—SO-Richtung des Sajan verbindet sich im Bogen mit der SW-NO-Richtung des Stanowoi-(Jablonoi-)Systemes.

Im Innern des Bogens liegt die alte Tafel in ihrer Ruhe wohlerhalten. Es ist das Amphitheater von Irkutsk. Das ist der Drehpunkt der Bögen, der Scheitel, nicht der baikalische Bogen, den Suess als alten Scheitel bezeichnet hat. Der baikalische Bogen ist seiner heutigen Entstehung nach jung entstanden. Wir sehen noch das Miozän in Gräben versenkt in den transbaikalischen Gebirgszügen liegen.

Vom äußeren zum inneren Bogen sehen wir durch ganz Asien Verbindungsbögen. Das System des Altai streicht von NW gegen SO in die Wüste Gobi. Das Gebirge verschwindet eine Strecke, weiter im Osten aber setzen Höhenzüge an, die meist NO-Streichen zeigen. Der innere Bogen ist zu erkennen.

Am deutlichsten läßt sich vielleicht das Umbiegen der mediterranen Linien in die ostasiatischen im folgenden Bogen erkennen. Der Tiauschan setzt gegen Osten in den Beischan fort. Vor dem Nanschan verschwindet er fast ganz. Am großen Knie des Hoangho stellen sich aber als Grenze gegen das Plateau von Ordos Ketten wieder ein, die im Bogen in die Richtung des großen Chingan einlenken (Ordosbogen).

Der Norden Asiens und Europas.

Die Linien des Jablonoi-(Stanowoi-)Gebirges schmiegen sich an die Leitlinien des Werchojanischen Bogens an. Dieser Bogen und auch die östlichen Ketten bis an die Indigirka zeigen vielfach NW gerichtetes Streichen. Auf der Tamyrhalbinsel treten Gebirgszüge auf mit SW—NO-Streichen. Weiter im Süden treten Wellen aus der Ebene hervor mit mehr O—W-Streichen. In Nowaja Semlia finden wir bogenförmiges Einlenken in die uralische Richtung. Der Bau von Nowaja Semlia zeigt bereits Streichlinien, die auch an die kaledonischen (atlantischen) Leitlinien anklingen.

Wir sehen nicht die Leitlinien des arktischen Orogen, aber wir spüren sie noch in dem Küstenverlauf, in der Anordnung einiger Gebirgszüge. Wir dürfen vielleicht annehmen, daß ähnlich wie im SO Asiens ein solches Einbiegen der ostasiatischen Leitlinien in die arktischen stattfinden wird. Der Werchojanische Bogen kann als ein solches Verbindungsstück gelten.

Die arktischen Linien gehen bogig in die atlantischen über und diese werden wir uns im Süden und Westen von Europa ähnlich verbunden denken können, wie wir das im Osten von Asien gesehen haben.

So könnten wir vier große Systeme von Dislokationsrichtungen in Eurasien unterscheiden: Das mediterrane System im Süden, das

Digitized by Google

pazifische im Osten, das arktische im Norden, das atlantische im Westen. Dazu kommt noch ein älteres fünftes System. Dies wäre das uralische mit N — S-Linien. Das sind junge Leitlinien auf altem Grunde. Auch die Uraliden sind nur jung belebte Paläiden.

Die Bögen um die sibirische Tafel.

Die Altaiden streichen mit NW gehenden Linien aus. Vom Karatau im Norden, von Taschkent her, ist schon von Muschketow eine Verbindung mit dem Ural angenommen worden. Auch im eigentlichen Altai sehen wir Streichen nach NW, auf den Ural zu. Zwischen Jenissei und der Angara treten Leitlinien auf, die stark gegen Norden streichen. Diese Linien haben nahe am Eismeere in alten Aufbrüchen (westlich vom Jenissei) ihre Fortsetznng.

So wie die ostbaikalischen Bogen sich an die Richtung des Werchojanischen Bogens anschmiegen, so lehnen sich die von den Altaiden nach NW ausstrahlenden Linien an die uralische an.

Es ist so, wie wenn sich um die sibirische Tafel, mit dem Zentrum im Angaragebiet, die Leitlinien konzentrisch anlegen würden. Der innerste Teil ist der ruhigste. Um diesen Ruhepunkt legen sich im Kreise herum die Dislokationen. Das ist der tektonische Scheitel.

Die baikalischen Bögen lenken im Osten in die Werchojanische Richtung ein, diese im Norden in die bogigen Linien der Tamyrhalbinsel und von Nowaja Semlia. In die uralischen Linien schwenken die altaischen Linien ein.

Die russische Tafel.

Ein ähnliches Verhalten sehen wir auch in der russischen Tafel. Auf allen Seiten ist sie von Ketten eingeschlossen. Z. T. sind es Mesoiden, wie die Alpen, die Karpathen, der Balkan, der Kaukasus. Meist aber sind es Paläiden. Das ist im ganzen Westen nnd wahrscheinlich im Norden der Fall. Die heftigsten Bewegungen liegen naturgemäß im jungen Orogen. Von diesem strahlen weit hinein parallele Bewegungswellen aus, die Karpinskischen Linien. Sie verbinden in jungen sanften Bogen die kaledonische und uralische Neubelebung in den Bogen von Bornholm und Schonen, in den Dislokationen, jungen Falten von Ergeni (an der Wolga). Hoch im Norden schon finden sich im großen Wolgaknie W — O streichende Dislokationen, die sich mit dem Ural verbinden.

Die Neubelebung der Kaledoniden, der Uraliden ist keine große. Doch gehen auch von ihnen junge Bewegungswellen aus, so die N — S streichenden Brüche in Schweden. Die ganze Ostsee ist in die junge atlantische Wiederbelebung eingestellt.


Digitized by

Auch die großen Flüsse zeigen Verlauf von Norden gegen Süden mit Kompromissen mit der mediterranen Richtung.

Der ruhigste Teil der Tafel ist der innerste. Sicher haben seit alter Zeit nicht mehr die Ausläufer orogener Bewegungen wesentliche Störungen verursachen können.

Gesamtgenetik.

Wir stehen unter dem Eindrucke, wie wenn das ganze erstarrte Feld Eurasiens vom Orogen her zusammengedrückt wurde. Von allen Seiten wirken Kräfte auf die erstarrten Massen ein. Je nach dem Grade der Erstarrung tritt Dislokation ein. Am stärksten in dem jüngsten Orogen, schwächer in den Paläiden, am schwächsten in den Archäiden. So ergeben sich Hauptdislokationslinien und Interferenzlinien.

So scheint der Bau Eurasiens viel verständlicher zu werden. Wir verstehen die gewaltigen Dislokationen im mesoiden Orogen und ihre Ausstrahlungen in Wellen auf das Vorland. Die größten Dislokationen liegen im SO. Hier wird auch der Zusammenhang mit den starken vulkanischen, seismischen Erscheinungen einleuchtend. Die russische Tafel erscheint wie ein weites Becken zwischen Ural und den Kaledoniden, mit einer Längserstreckung N—S. Ähnlich ist es auch in der sibirischen Tafel. Beide Tafeln sinken allmählich unter das Eismeer.

Sie erscheinen gleichsam als die Pole, um die sich die Bewegungen im Kreise anordnen.

Die afrikanische Einheit.

Diese wird von Afrika und Arabien gebildet und der Umrahmung des afrikanischen Kontinentes weit hinaus in den Ozean, bis an die atlantische und indische Rückenreihe.

Es ist ein merkwürdiger Bau. Seine Linien zeigen so deutlich die konzentrische Anordnung der großen tektonischen und morphologischen Züge. Und sie ist bisher ganz übersehen worden.

Die Gestalt des afrikanischen Kontinentes war immer auffällig. Und eine so auffällige Linie bildete die ostafrikanische Grabenreihe. Aber ein Blick auf die Karte lehrt, daß die Gestalt Afrikas vollständig abgebildet wird von einer Tiefenrinne des atlantischen und indischen Ozeans und dem indisch-atlantischen Rücken. Wieder macht es den Eindruck, wie wenn die afrikanische Scholle zusammengedrückt wäre innerhalb eines Ringes, der durch das alpine Orogen, durch den atlantisch-indischen Rücken gegeben ist.

Digitized by Google

Die Hauptdislokationsrichtungen.

Die indische Richtung.

Darunter verstehen wir die ungefähr N—S laufenden Dislokationen des Ostens der afrikanisch-arabischen Scholle. Diese Linien zeigen die allgemeine Tendenz, im Norden in die alpine, im Süden um das Kapgebirge, in die atlantische Richtung überzugehen.

Die indische Richtung sehen wir im indischen Rücken. Sie beginnt auf dem kontinentalen Felde, noch auf indischem Boden, in den Induskketten, die aus der Scharung mit dem Himalaya mit N—S-Streichen an das Meer herantreten und hier mit Riasküsten abbrechen. Indisch ist die Richtung der Küstenlinie auf der Westseite Vorderindiens, indisch ist das N—S-Streichen der Lakediven, der Malediven, der Chagos-Inseln, indisch ist der N—S laufende Rodriguez-Rücken. Noch tiefer im Süden stellt sich eine Untiefe von 1645 m ein. Sie lenkt bereits mit SW-Streichen in den Kapbogen ein. Dies ist die erste Außenreihe indischer Dislokation.

Dann folgt eine zweite Reihe. Die ist hauptsächlich durch die Maskarenenschwelle gegeben. Im Norden ist hieher zu rechnen die Kette von Oman, die mit NW-Streichen bereits in die alpine Richtung einlenkt. Im Süden gehört dazu die Schwelle der Prinz Eduard-Inseln. Diese zeigt in der Crozetschwelle eine O—W-Linie, ein Hinüberleiten zu den Kerguelen. Dies ist eine andere Richtung, die später besprochen wird.

Die dritte Linie ist gegeben durch die Seychellen-Madagaskar-Linie. Östlich von Madagaskar stellt sich ein Ast der madagassischen Mulde vollständig zwischen die Linie zwei und drei ein.

Die vierte Linie bilden die Mulden: die Somalimulde, die madagassische, die Kapmulde.

Die fünfte Linie wird durch die Küstenlinie gegeben.

Die sechste ist die Linie der afrikanischen Gräben. Diese Linie beginnt ganz im Süden, fügt sich an das Kapgebirge an, läuft durch den Kontinent N—S und schmiegt sich im Norden an die mediterrane Richtung.

Die mediterrane Richtung.

Das ist die alpine Richtung, gegeben durch die alpine Umrahmung von Oman, über das Mittelmeer bis in die Kanaren. Es ist im ganzen genommen ein Bogen, schwach gegen Norden vortretend, im Osten herrscht NW-, im Westen SW-Richtung. Beide verbinden sich durch O—W-Richtung. Die NW-Richtung im Osten zeigt sich so deutlich in den iranischen Ketten. Die SW-Richtung im Atlas. Die ostwestliche Verbindung gleichsam im taurischen Gebirge.

Digitized by Google

Die iranische Richtung zeigen aber die iranischen Ketten, die davor liegende Vortiefe, der persische Meerbusen und Mesopotamien. Die Halbinsel Arabien ist in der iranischen Richtung gestreckt. Sie ist in iranischer Richtung aufgewölbt. Im Osten taucht sie mit den jüngsten Ablagerungen unter die mesopotamische Vortiefe, im Westen, am Roten Meere, kommt der Grundgebirgssockel weit heraus. Die arabische Halbinsel ist eine schiefgestellte Platte mit Absinken gegen NO.

Die iranische Richtung zeigt sich im Graben des Roten Meeres, im Golf von Suez, ferner in der Zersplitterung des syrischen Grabens beim Hermon, in dem sich NW-streichende Äste loslösen, so z. B. der kleine Graben von Haifa. Iranische Richtung verrät z. T. der Nil. Aber ungemein interessant ist das Streichen der jungen Aufwölbungen, der Dislokationen, der vulkanischen Phänomene des Gebirges von Tibesti.

Das Streichen des Plateau von Tassili, das Tümmogebirge, das Tarsogebirge, die Höhen von D. Marrah, bilden einen leichten Bogen, der von Süden nach NW übergeht. Weit im Kontinente drinnen wird die iranische Richtung wieder lebendig, die aber schon im Westen in die Atlasrichtung einschwenkt.

In diesem Bogen von Tibesti sehen wir tief im Innern der afrikanischen Kontinentaltafel alpine Linien, Ausläufer von Bewegungswellen aus dem alpinen Orogen. Dieser Bogen von Tibesti ist gleichsam das Gegenstück zu den Dislokationen der Karpinskischen Linien im Süden des mediterranen Orogen.

Andererseits gleicht er in gewissem Sinne dem Hawai-Rücken,

Die Atlas-Richtung.

Die beginnt im Tunis und reicht bis an die marokkanische Küste. Die Schotts, das Wadi Draa zeigen dieselbe Anlage. Es scheint, daß sich in die Sahara hinein SW—NO streichende Linien nachweisen lassen. Jedenfalls tritt gegen die Küste zu eine solche Richtung in Höhenzügen hervor.

Die SW-Richtung des Atlas bezeichnet das Einschwenken in die atlantische Richtung.

Die atlantische Richtung.

Darunter verstehen wir die Richtung, die sich im atlantischen Rücken äußert, soweit er Afrika vorliegt.

Von den Azoren bis zum Äquator, wo die 2000—3000 m-Schwelle auf kurze Distanz unterbrochen wird, macht der atlantische Rücken einen gegen SW offenen Bogen. Dieser Bogen zeigt im Norden, etwa von den Azoren an, SW-Richtung, d. i. die Richtung des Atlas, im südlichen Teil stark SO-Richtung. Genau diese Anlage zeigt die Cap

Digitized by Google

Verde-Mulde. Der Bogen dieser Mulde ist sogar noch schärfer. Der SW-gestreckte Teil, analog der Atlasrichtung tritt scharf hervor, ebenso die SO-Einbiegung.

In den Bogen der Mulde hinein streckt sich die Schwelle, auf der die Cap Verde-Inseln liegen, die äußersten Vorposten der afrikanischen Kontinentalmasse. Diese zeigt denselben Verlauf in der Küstenführung. Die Dislokationen, die Höhenzüge der Goldküste zeigen wieder SO-Verlauf.

Vom Bogen des atlantischen Rückens bis tief hinein in den nordafrikanischen Kontinent läßt sich der morphologische und tektonische Parallelismus verfolgen.

Genau so ist es im Süden. Der südliche atlantische Rücken streicht N—S, im Süden leicht nach Osten, in den Kapbogen einbiegend. Die Kongo-, die Oranje-, die Kapmulde zeigen dieselbe Anlage. Sie sind alle N—S gestreckt. Die Küste läuft N—S. Die Gebirge der Küste laufen N—S.

Am auffallendsten ist die weitgehende Übereinstimmung des einspringenden Winkels des atlantischen Rückens (im Äquator) mit der Küste.

Der Walfischrücken zeigt ein gewisses Anschmiegen an die N-Richtung.

Der Kapbogen.

Das ist die Verbindung der indischen Richtung mit der atlantischen, im Süden von Afrika.

Der Kapbogen tritt im Bogen des Kapgebirges, in der Küstenlinie, in der Muldenführnng, der Oranje-, der Kapmulde und madagassischen Mulde scharf hervor. Aber auch noch die Schwellen der Bouvet-Insel, der Prinz Eduard- und Crozet-Insel zeigen auf die Bogenform hin.

Der Kapbogen ist das Gegenstück zum alpinen Bogen auf der Nordseite von Afrika-Arabien.

Die konzentrischen Linien treten in dem Aufbaue des Kontinents, des Meeres, der Rücken mit aller Deutlichkeit hervor. Sie können nicht in ihrer Bedeutung verkannt werden. Die große afrikanische Grabenreihe verliert ihren Nimbus der N—S-Richtung, einer Zerspaltung des Planeten in N—S-Richtnng. Diese Richtung ist keine besondere Dislokationsrichtung der Erde. Sie ist in dieser Gegend heimisch, sie beherrscht den Aufbau des Kontinentes im Osten und des Meeres weit hinein in den indischen Ozean.

Die Ostküste Asiens und Afrikas sind nicht so wesensverschieden, als man glauben möchte. Die Schollenlandschaft Ostafrikas und Ostasiens haben denselben Bauplan mit quantitativen Unterschieden.

Angesichts dieses Bildes der afrikanischen Einheit müssen wir uns doch fragen: Warum stellen sich alle diese Linien, die Rücken, die Mulden, die Küsten, die Gräben, die Gebirge in diese Kreise ein,

Digitized by Google

warum wird das Kapgebirge neubelebt, warum zeigt der Bogen von Tibesti die iranische Richtung, warum streicht das Rote Meer von SO—NW, warum ist die Hauptstreckung von Madagaskar gegen NO gerichtet, ebenso die Mulden.

Warum stellen sich denn die Mulden nicht quer, warum hat Madagaskar nicht O—W-Erstreckung?

Weil eben dieser Anordnung ein Gesetz zugrunde liegt, das gleichmäßig über die ganze Einheit durch lange Zeit eingewirkt hat dergestalt, daß der äußere Ring die Anlage bestimmt hat und die scheinbare Ursache dieses Baues wird.

Von dem Ring strömen in konzentrischen Wellen die Bewegungen auf die kontinentale Masse, so wie die Wellen eine Insel umbranden. Sie dringen gegen das Innere vor. Aber sie bleiben doch auf den Rand beschränkt. Diesen deformieren sie. Die Hauptmasse der Kontinentalmasse bleibt ruhig, erzittert nur leise in ihrem Gefüge.

Welcher Art der Ring im Norden ist, sehen wir. Es ist der orogene Ring der Mesoiden. Von den Kanaren bis nach Oman verfolgen wir diesen Ring als fast geschlossene Zone. Wir verfolgen tief in den Kontinent hinein die alpine Bewegung des alpinen Bogens. In der Anlage des Roten Meeres, im Bogen von Tibesti erkennen wir Ausläufer alpiner Bewegungen.

Die Fortsetzung dieser Vorläufer der alpinen Bewegung verfolgen wir weiter nach Süden. Aber wir finden keine direkte Fortsetzung des orogenen Ringes mehr, von dem die Bewegungen ausstrahlen, sichtbar auf der Oberfläche. Aber die allgemeinen Züge des orogenen Ringes lassen sich weiter verfolgen. Und darum müssen wir diesen annehmen.

Das Orogen ist versenkt, so im indischen Rücken. Aber daß es vorhanden war, zeigen die Riasküsten am Indus, in Oman, die Existenz einer alpinen Geosynklinale im indischen Ozean, die orogene Breite des indischen Rückens u. a.

So reihen sich eine Reihe von wichtigen geologischen, tektonischen, morphologischen Erscheinungen aneinander, die dazu führen unter Berücksichtigung des allgemeinen Bildes der afrikanischen Einheit, einen orogenen Ring rund um die afrikanische Scholle anzunehmen, ähnlich wie um Eurasien. Dort ist aber dieser Ring auf viel größere Dimensionen erhalten.

Die orographische Gliederung

der afrikanischen Kontinentalscholle, wie sie auf den Karten meist dargestellt wird, zeigt das Maximum der Erhebung auf der Ostseite. Es zieht ein breiter Rücken über 1500 m hoch über Abessynien an die großen Seen heran und ist noch weiter südwärts zu verfolgen. Inter-

Digitized by Google

essant ist vor allem die Richtung. Es ist die typische indische Richtung, eine Aufwölbung in der Richtung des indischen Orogen und zweifellos mit demselben zusammenhängend. Die Achse der afrikanischen Grabenreihe liegt in dieser Höhenregion, sehr dafür sprechend, daß sie eine Aufwölbung ist, in der der Grabenreihe die Rolle des Scheitelrisses zukommt.

Eine weite Höhenregion ist die Region „Tibesti" mit über 1000 m Höhe. Die Richtung dieser Züge ist, wie gesagt, die alpine.

Die Höhenregion der Grabenreihe zieht nach Süden weiter, nimmt den größten Teil Südafrikas ein. Hier ist die mittlere Höhe aber nur mehr 1000—1500 m.



Fig. 40. Orographische Übersicht von Afrika nach Gautier-Chudeau (Norden) und Passarge (Süden) nach E. Hennig, ergänzt von L. Kober.

Die Transgressionen

des Mesozoikums und des Tertiär zeigen ebenfalls deutlich die Abhängigkeit vom orogenen Ringe, bezw. von dem Geosynklinalgebiete.

Die Transgression der Trias, des Jura, der Kreide, des Eozän bilden, wie die Skizze zeigt, nahezu konzentrische Ringe, die in voller Abhängigkeit von dem Orogen stehen. Von diesem gehen offenbar alle Transgressionen aus, nur ist ihre Reichweite eine verschiedene. Sie sind am größten zur Zeit des Maximums der Gebirgsbildung. In der

Digitized by Google

Oberkreide wird fast der ganze Norden überflutet. Es bleibt von der Kontinentalmasse der mittlere und südliche Teil übrig.

Anders ist das Bild zur Zeit des Jura, anders in der Trias. Je weiter wir in die Vergangenheit zurückgehen, d. h., je weiter wir von



Fig. 41. Schema der geotektonischen Gliederung der afrikanischen Kontinentalscholle und der angrenzenden Ozeangebiete, zeigend die Abhängigkeit des Baues und der Transgressionen vom orogenen Ring. Nach L. Kober 1919.

der orogenen Phase in die geosynklinale Phase des orogenen Ringes zurückgehen, desto geringer wird im allgemeinen die Reichweite der Transgression. So liegt die Transgression der Trias z. g. T. außerhalb der Kontinentalscholle selbst und erscheint nur dort, wo noch das Orogen vorhanden ist, also im Norden, im Vorlande der alpinen Zone. (Fig. 41.)

Digitized by Google

Zusammenfassung.

Die heutige Gestalt Afrikas, seine morphologische Gliederung, die Anordnung der Höhenzüge, der afrikanischen Grabenreihe, die Lage der Großformen der Afrika umsäumenden Ozeane, die Anordnung der Mulden, die submarinen Höhenzüge, die Transgressionsgrenzen des Mesozoikums, des Tertiär, die vulkanischen Phänomene, mit einem Worte, die Summe der geologisch beobachtbaren Erscheinungen der afrikanischen Kontinentalscholle zeigen einen eigenartigen konzentrischen Anfbau, der unserer Meinung nach mit dem orogenen Ringe, der die Kontinentalscholle umsäumt, zusammenhängt, so zwar, daß es den Anschein hat, wie wenn diese Zone gleichsam die aktive wäre. In Wirklichkeit ist das Verhältnis umgekehrt, die orogene Zone ist das Passive, das Aktive dagegen ist die erzeugende Scholle, die Kontinentalmasse.

Das Verhältnis der afrikanischen Einheit zur eurasiatischen.

Vom atlantischen Ozean bis zum indischen ist Afrika mit Eurasien verschmolzen. Die kleine Oberflächenscheidung durch das Mittelmeer ist nicht von Bedeutung.

Eurasien und Afrika sind durch den orogenen Ring verbunden. Der orogene Ring ist ca. 1000 km breit. Er hat primären O—W-Verlauf. Alle Hauptdislokationen liegen in dieser Richtung. Es sind die echten alpinen Leitlinien. Sie strahlen aber weit nach N und S aus. So legt sich in Europa, wie in Afrika, eine Zone vor das Orogen, das durch solche O—W laufende Linien ausgezeichnet ist. Die Leitlinien von Tibesti und die Karpinskischen Linien sind genetisch gleich. Sie bezeichnen das relativ schmale Band aufgerütteten Vorlandes vor dem Orogen.

Die Bewegungen in dieser Zone sind sicherlich jünger als die Hauptmasse der Dislokationen im Orogen. Die Bewegungen dieser Zone sind schwache Ausklänge der großen alpinen Deformationen.

Im alpinen Orogen haben wir zwei Stämme unterschieden. Den afrikanischen und den eurasiatischen. Der afrikanische Stamm ist die Bewegungswelle, die auf die afrikanische Kontinentalmasse hinauf brandet, während die eurasiatische auf Europa drängt.

Von der größten Bedeutung wird jetzt die Trennung der beiden Stämme im Orogen. Wir haben hier einen Narben- und einen Zwischengebirgstypus unterschieden. Der erstere zeigt sich in der dinarischen Narbe der Alpen, der letztere in den Zwischengebirgen Ungarns, Kleinasiens.

Jetzt erst scheint so recht die Bedeutung der Stammgliederung des Orogen klar zu werden und vor allem die Bedeutung der Narben.

Hier müssen wir uns die Größe der Dislokationen und ihre Wirkungen vor Augen halten. Solange die Bewegungen im Orogen im

Digitized by Google

Gange sind, erscheinen die pazifischen Gesteine. Im dislozierten Vorlandstreifen gibt es nur atlantische Gesteine. Atlantische Gesteine erscheinen im Orogen, wenn dieses niederbricht, wenn der orogene Zyklus neuerdings dem geosynklinalen Platz macht, wenn die orogene Bewegung in die thalattogene übergeht. Wird das Vorland zu stark in den Wirbel der orogenen Bewegung einbezogen, können auch dort tektonische Differenzierungen des Magma eintreten und Typen nach der pazifischen Seite stellen sich ein. Aber niemals finden wir in der Zeit der großen Bewegungen atlantische Magmen.

Die orogenen Ringe gehen tief in die Erdrinde hinein. Der Faltungstiefgang kann bis auf 40—50 km geschätzt werden. Diese Tiefe kommt nahe der Mächtigkeit der Erdrinde unter dem Ozeanboden. Nach Lukatschewitsch haben wir etwa 55 km anzunehmen. Die orogenen Ringe setzen wahrscheinlich mit ihrem Bau durch die ganze Erdrinde und trennen so vollständig die einzelnen kontinentalen Massen.

Der lockere Bau der orogenen Ringe ist unvergleichlich schwächer als der kontinentale Bau. Die orogenen Zonen sind die Scharniere der Kontinente. Die Dislokationen dieser Tafeln an ihren Rändern gegen das Orogen sind gleichsam der abbröckelnde Rand der Kontinentalscholle in den orogenen Trog.

Die Breite der Dislokation im Orogen. Wir haben früher ausgeführt, daß wir als Maß der Reduktion der Geosynklinale auf das Orogen 1 : 2—3 anzunehmen haben. Die Geosynklinale war 2000 bis 3000 km breit. Dies ist die Breite des heutigen atlantischen Ozean zwischen Europa und Amerika. So groß oder größer war der Ozean der Tethys zwischen Europa und Afrika. Die Zusammendrückung von 2000—3000 km auf 1000 km gibt eine Vorstellung von dem Gesteinshaufen, der im Orogen aufgetürmt werden muß. Diese Auftürmung führt zu einer solchen Überlastung des Orogen und der Erdrinde, daß sie unter diesem enormen **Übergewicht** häufig einsinkt.

Das Einbrechen der orogenen Zonen und der kontinentalen Ränder. Rekurrenz der ozeanischen Becken.

Aus diesem Gesichtspunkte verstehen wir das Niederbrechen des Orogen zum Meeresboden, die Einleitung einer neuen geosynklinalen Phase, den Rythmus, den wir in der Erdgeschichte in dem Zyklus beobachten. Mit dem Niederbrechen des Orogen werden auch kontinentale Teile mitgenommen. Ein neues großes Meer bildet sich über dem versunkenen Orogen.

So entsteht der heutige atlantische und indische Ozean über dem atlantischen, dem indischen Rücken, dem atlantischen, dem indischen Orogen. Diese selbst sind aus einer atlantischen und indischen Geo-

Digitized by Google

synklinale hervorgegangen. Durch diesen Prozeß ist aber die afrikanische Kontinentalscholle kleiner geworden.

Die afrikanische Grabenreihe ist eine Dislokation, die mit der Bildung des indischen Orogen, mit dessen Niederbruch zusammenhängt und als Folge der Verkleinerung des afrikanischen Kontinents erscheint. Es ist also kontraktive Auslösung in diesen Dislokationen zu erkennen.

Dies stimmt mit allen bisherigen Erfahrungen über den Bau der Orogene, der großen Grabenreihen, und mit dem Großbau der geotektonischen Einheiten, im besonderen der afrikanischen Scholle.

Die nordamerikanische Einheit.

Es sind im Vorhergehenden die wesentlichen Eigenschaften der geotektonischen Einheiten der Erde aufgezeigt worden. Dieselben Erscheinungen finden wir nun in den übrigen derartigen Einheiten. Es finden sich dieselben Gesetze.

Wir wollen uns nun kurz fassen und die einzelnen geotektonischen Einheiten im Baue der Erde sowie ihre typischen Baupläne in den Hauptlinien aufzeigen.

Die nächste geotektonische Einheit bildet die nordamerikanische Kontinentalmasse mit Grönland und einem Teil des Atlantik.

Alles, was innerhalb des supponierten mesoiden Orogenringes liegt, gehört zu dieser Masse. (Siehe die Karte.)

Wir sehen, daß die allgemeinen Konturen der nordamerikanischen Kontinentalmasse eine Nachbildung des orogenen Ringes sind. Im Westen fällt die Kontinentalwand fast mit dem orogenen Rand zusammen. Im Norden ist das Orogen samt seinem Vorlande weitgehend eingebrochen. Nur der Rest der Vereintstaatenkette ist geblieben. Aber die Küste folgt der allgemeinen Orogenrichtung. Im Atlantik ist der Parallelismus der Küste mit dem Orogen besonders hervortretend, von Grönland bis tief nach Süden.

Ganz im Süden bricht das Vorland des Orogen im atlantischen Becken zu Tiefen von 6000—7000 m nieder. Die Anlage des Beckens ist wie die Richtung der vorliegenden Küste nach dem Orogen orientiert.

Auffallend ist auch die Analogie der Richtung in den Appalachen und dem atlantischen Orogen.

Die hauptsächlichsten tektonischen Linien ordnen sich dem orogenen Ringe ein. In einem breiten Bande, teils im Orogen liegend, teils außerhalb desselben gelegen, aber immer dieselbe Richtung zeigend, gehen alle tektonischen Linien in die Kontinentalmasse. Je näher dem Orogen, desto heftiger ist die Bewegung. Alle Orogene, besonders die Paläiden der Appalachen werden jung belebt.

Alle großen Züge der Morphologie stehen in Abhängigkeit vom orogenen Ring. Die Hauptachse der Erhebung liegt im Orogen

Digitized by Google

des Westens. Dem folgt eine flache Zone bandförmig, vom Eismeer bis tief nach Süden. Dieselbe Zone schwenkt am Mississippi um und umgibt die Appalachen. Die tiefsten Gründe liegen um die Hudsonbai. Hier beginnt auch die Auflösung der Kontinentalmasse in den Archipel.

Die Davisstraße mit ihrem N—S-Verlaufe zeigt einen Parallelismus mit westlichem Orogen, oder jedenfalls eine Interferenzrichtung der pazifischen und atlantischen Richtung.

Die Transgressionen gehen vom orogenen Ringe, bezw. den Geosynklinalgebieten des Mesozoikum konzentrisch ungefähr auf die Kontinentalmasse. Die Trias erreicht den Ostrand des Kontinentes in den Appalachen, erscheint noch im Rhät auf Grönland, liegt in den epikontinentalen und geosynklinalen Gliedern wahrscheinlich in der Region des atlantischen Rückens begraben. Im Norden geht die Transgression von Grönland gegen Süden vor, dringt aber nicht weit auf den heutigen Kontinent ein. Im Westen geht die Transgression von der Geosynklinale der Rocky Mts. aus. Wieder ist die Reichweite keine große.

Weiter im Süden, in Zentralamerika, ist offenbar das Orogen weitgehend deformiert. Nur geringe Reste sind in den Antillen stehen geblieben.

Im Jura werden größere Gebiete der Kontinentalmasse in den Bereich des Meeres einbezogen. Es handelt sich offenbar um ein Vordringen des Geosynklinalbereiches, also um eine allgemeine Tieferlegung der Ränder der Kontinentalmasse, wie wir das so häufig in dieser Zeit sehen.

Besonders im Norden erreicht die Transgression weitere Ausdehnug.

Noch größer wird die Transgression der Oberkreide, die natürlich im Bereiche der vorhandenen Orogene ganz besonders deutlich wird. Oberkreideablagerungen nehmen im Westen und Süden große Flächen ein. Diese Transgressionen fallen ebenfalls mit der ersten großen Auspressung der Geosynklinale während der Oberkreide zusammen und bezeichnen, sozusagen, das Inundationsgebiet des Kontinentalsockels zur Zeit der Vertreibung der Ozeanwässer aus dem Geosynklinalgebiet infolge der allgemeinen Gebirgsbildung.

Die südamerikanische Einheit.

Sie umfaßt den Kontinent und den angrenzenden atlantischen Teil bis zum orogenen Ring.

Dieser ist in ganz Südamerika gegeben, durch die nördlichen und südlichen Antillen, durch die Anden und durch den atlantischen Rücken.

Innerhalb dieses Ringes liegt die südamerikanische Einheit und zeigt ungefähr vierseitigen Umriß. Im Norden, Westen und Süden ist die Kontinentalmasse vollständig vom orogenen Ring typisch umrahmt,

Digitized by Google

im Osten aber fehlt oberflächlich der natürliche Abschluß der Einheit. Er ist versenkt und zieht unserer Vorstellung nach von den Orkney-Inseln auf den Höhenrücken des Bouvet-Eilandes. Hier beginnt der südatlantische Rücken.

Wieder zeigen besonders im Osten der atlantische Rücken, die Mulden, die Küste Südamerikas die tektonische Kongruenz. Die Mulden sind lang gestreckt. Besonders auffällig ist die NW—SO-Einstellung der argentinischen Mulde, eine schwache Nachahmung der Richtung des südlichsten Teiles des atlantischen Rückens.

Genau so wie die Gestalt Afrikas durch den orogenen Ring bestimmt wird, genau so ist es mit Nordamerika und Südamerika der Fall. Die Gestalt der Kontinentalmassen wird durch die supponierten orogenen Ringe vollständig geläufig. Die Kontinentalmassen erscheinen im Lichte dieser Auffassung als alte vorbestimmte Massen, als Zonen der Erde mit einer gewissen Stabilität und Permanenz.

Die tektonischen Linien folgen dem orogenen Ring. Im Norden ist die Richtung O—W dominierend, im Westen N—S. Die morphologischen Züge lassen die Heraushebung der Masse von Guyana im alpinen Sinne erkennen, die pampinen Sierren zeigen Umschwenken nach SO, ein Hinaustreten in den Ozean, ähnlich wie die Antillen. Der Amazonas repräsentiert ein Muldengebiet, eingebettet zwischen den alpinen Zügen im Norden und den Gebirgen der SO-Küste. Östlich der Anden folgt eine tiefe Niederung N—S. Die Transgressionen erscheinen in gleicher Weise vom Orogen abhängig, wie in den anderen Kontinentalmassen. Im Osten erreichen sie aber nicht den heutigen Kontinentalrand. Die Transgressionen reichten ursprünglich nicht so tief auf die Kontinentalmasse. Sie können daher nicht vorhanden sein, aber es ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß sie auf der kontinentalen Masse, die im Ozean tief versenkt ist, vorhanden waren.

Durch die Verkennung dieses Umstandes ist die Anschauung vom großen brasilianisch-afrikanischen Kontinent für das Mesozoikum entstanden.

Die indo-australische Einheit.

Eine weitere Einheit bilden unserer Meinung nach Indien und Australien. Der orogene Ring läßt sich im Norden und Osten von den Ketten des Indus über den Himalaya, den Sundaarchipel bis nach Neuseeland als eine einheitliche Zone verfolgen. So wird die eine Hälfte der Einheit vollständig umrahmt.

Die westliche orogene Umrahmung ist dagegen niedergebrochen und läßt sich in dem indischen Rücken, von den Lakediven bis auf Kerguelen, verfolgen. Von hier muß eine Verbindung mit Neuseeland supponiert werden.

Digitized by Google

Alles, was innerhalb dieses Ringes liegt, gehört der indo-australischen Einheit an. Sie ist weitgehend deformiert. Zwischen Indien und Australien ist die Verbindung eingebrochen. Der westliche orogene Ring hat bei seinem Eintritte in eine neue geosynklinale Phase bedeutende Teile der Kontinentalmasse mit in die Tiefe gezogen.

Die west- und südaustralische Mulde, Indien, Australien selbst, scheinen in ihrer Anlage abhängig von den großen Gesetzen, die diese Einheit beherrschen. Es ist eine Längsstreckung in der Richtung gegen NW vorhanden. Dieser Richtung folgen die tektonischen, die morphologischen Hauptzüge. Die Transgressionen Australiens werden von unseren Gesichtspunkten aus verständlicher, so z. B. die Transgression des Jura im SW von Australien. Es ist dies die Transgression der supponierten westlichen Geosynklinalregion. Freilich ist die Kontinentalmasse gegenwärtig so weitgehend versenkt, daß eben nur noch die Scheitelteile der Kontinentalmasse vorhanden sind, die die Trias- oder die Jura-Transgressionen nicht mehr erreichen konnten.

Die Deformation der indo-australischen Einheit führt zu einem Typus von Einheiten, die wir im Pazifik vermuten.

Die **nordpazifische Einheit** begreift jenes Gebiet, das im Osten, Norden, Westen und Süden innerhalb des pazifischen orogenen Ringes liegt. Dieser Ring reicht also im Bogen von Mittelamerika über Alaska auf den Sundaarchipel, und von hier bis über Neuguinea hinaus. Als Südumrahmung wird hier der polynesische Bogen supponiert, durch den über die Oster-Insel ein Anschluß mit Mittelamerika vermutet wird.

Der orogene Ring ist zum größten Teile vorhanden. Das Verhalten desselben ist genau dasselbe wie bei einem orogenen Ring, der eine Kontinentalmasse umrahmt. Wir haben früher gezeigt, daß die pazifischen Ketten unter der heutigen Morphologie gar nicht entstehen konnten, sonst wären alle Ketten in den Pazifik abgerutscht. Dies ist nicht der Fall. Wir sehen die Rocky Mts. auf den Kontinent bewegt. Das kann nur geschehen sein bei der Existenz einer kontinentalen Masse im gleichen Niveau ungefähr wie die nordamerikanische, aber innerhalb des pazifischen Ringes gelegen. Nur zwischen dieser und den umliegenden Kontinentalmassen Asiens, Nordamerikas konnte der pazifische orogene Ring entstehen.

Von diesem Gesichtspunkte aus müssen wir sagen, daß auf dem Boden des Nordpazifik eine kontinentale Masse als Widerlager des pazifischen Ringes liegen muß. Diese kontinentale Masse ist aber jung versenkt worden.

Betrachten wir die großen morphologischen und tektonischen Züge. Da erscheint uns der ganze Nordpazifik als eine Einheit, deren charakteristischer Zug gleichsam eine Einstellung aller Linien in die Richtung

Digitized by Google

NW—SO ist. Diese Richtung reicht von dem Sandwich-Rücken bis in die polynesische Inselwelt. Merkwürdig ist die Grabenreihe, die von den Karolinen mit flachem NO-Streichen gegen den Hawairücken hinzieht. Es ist hier eine Einstellung in die Richtung NO vorhanden, die bis zu den Aleuten hinaufreicht. Schwer zu deuten ist der lange Gebirgszug, der dem orogenen Ring fast parallel vorliegt und der über die Karolinen, die Marschall-, Gilbert-, Ellice-Inseln auf die polynesische Inselwelt zustrebt.

Ihrer ganzen Lage nach hat die nordpazifische Einheit eine gewisse Ähnlichkeit mit der indo-australischen, nur ist eben im Nordpazifik die kontinentale Masse vollständig versenkt. Ihr Streichen zeigt etwa der Hawairücken, der stehengebliebene, relativ ruhige Scheitelteil der pazifischen Masse.

Die **südpazifische Einheit** wird im Osten, Süden und Westen von einem fast vollständig geschlossenen orogenen Ring umgeben. Im Norden muß der Abschluß im polynesischen Inselzug supponiert werden. Hier gilt dasselbe, was zuvor vom Nordpazifik gesagt wurde. Das ganze Gebiet gehört zu den am wenigsten bekannten Teilen der Erde. Genauere Tiefenmessungen der Ozeane, dann der antarktischen Umrahmung werden willkommenen Aufschluß geben.

Die **antarktische Einheit** umfaßt die große hochgelegene kontinentale Welt der Antarktis. Auch sie bildet eine geotektonische Einheit und muß als kontinentale Masse von einem orogenen Ring umrahmt sein. Dieser ist größtenteils versenkt. Wir kennen bloß das Bruchstück auf Grahamland, auf den Orkney-Inseln.

Eine orogene Verbindung von Neuseeland nach Grahamland ist bereits von Wilckens supponiert worden, eine Geosynklinale von Grahamland in den indischen Ozean ebenfalls, da besonders die Oberkreide in Grahamland neben patagonischen Formen auch indische Elemente enthält. Die Unterkreide Südafrikas zeigt im Trigoniensandstein südamerikanische Elemente. So bleibt für uns nur mehr die Brücke zu schlagen nach Neuseeland. Aber da sehen wir im Jura bereits die Transgressionen vom orogenen Ring aus nach SW-Australien[1]).

So wird ein orogener Ring um die antarktische Masse angenommen, der von Grahamland über die südlichen Antillen nach dem Atlantischen Rücken zieht, hier über die Prinz Eduard-, die Crozet-, Kerguelen-Inseln nach Neuseeland angenommen werden muß. Von hier muß eine Verbindung nach Grahamland laufen.

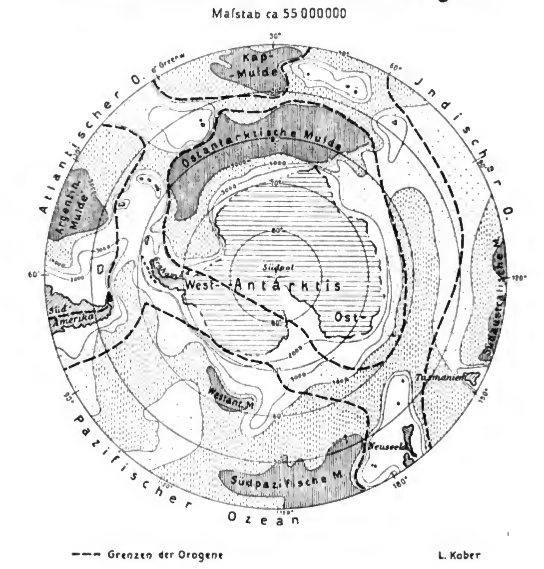
[1]) Dieser Ring ist auf der schematischen tektonischen Karte der Erde falsch gezeichnet. Er muß der Rückenregion im Süden Australiens (3000—4000 m) folgen, nicht der 4000—5000 m-Senke.

Digitized by Google

In schöner Abhängigkeit von diesem supponierten Ring liegen die Mulden, die ost-westantarktische, die südpazifische Mulde. Besonders die ostantarktische Mulde liegt in der Position einer Vortiefe zwischen der Kontinentalmasse und dem atlantischen Rücken.

Fig. 42.

Geotektonik der antarktischen Region.



Wir glauben durch diese Ausführungen das Wesen der geotektonischen Einheiten der Erde genügend aufgezeigt zu haben und wenden uns nunmehr der Zusammenfassung aller bisherigen Erfahrungen zu.

Digitized by Google

X. Rückblick auf den Bau der Erde und seine Entwicklung.

Der Bau der Erde.

Wir haben im vorhergehenden die einzelnen Bausteine der Erde in ihrem Materiale, ihrem Baue, ihrer Morphologie, dann den Bau der Kontinente, der Ozeane, der geotektonischen Einheiten kennen gelernt und wollen nun zuerst versuchen, die allgemeinen Züge der heutigen Gestaltung der Erdoberfläche kurz zusammenzufassen.

Die Bauformel der Erde.

Als hervorstechendster Charakterzug des Baues der Erde erscheint die allgemeine Einordnung aller großen geographischen, tektonischen, morphologischen Linien, mit einem Worte, die Anordnung aller geologisch bedeutsamen Züge unter ein bestimmtes genetisches Prinzip. Wenn die Gestaltung der Meere, dann die der Erdoberfläche, wie sie zurzeit bekannt ist, die großen Linien der Erdoberfläche richtig wiedergeben, dann gilt auch das hier festgehaltene Schema des Baues, insoferne, als eben die großen geotektonischen Einheiten die beherrschenden Linien abgeben für den Bau der Erde, auch wenn die supponierten mesoiden Orogene, wie z. B. der atlantische Rücken, in der hier angegebenen Weise nicht existiert haben.

Die allgemeine Abhängigkeit aller Linien von den großen geotektonischen Einheiten ist vorhanden, wenn die heutige Morphologie, wie gesagt, in den Hauptzügen richtig erfaßt ist.

Es ist im Bau der Erde keine willkürliche, zufällige, gesetzlose Anordnung der Linienführung da, sondern streng gefügte Gesetzmäßigkeit, derart, daß alle Züge des Baues der Erde hervorgehen aus der die ganze Erdrinde beherrschenden Schrumpfung (Kontraktion), der Zusammenpressung der Rinde bei der Teilung der Rinde in große starre Tafeln und relativ sehr plastische, schmale, langhinziehende, orogenetische Zonen. Dabei erscheinen zwei Hauptniveauflächen, die mittlere Landhöhe und die mittlere Meerestiefe, die voneinander durch einen Abstand von 4—4$^1/_2$ km Höhe geschieden sind und offenbar in einem gewissen Gleichgewichtsverhältnis stehen.

Die bedeutendere Fläche ist jedenfalls die tiefere, die Ozeanfläche, der gegenüber die kontinentalen Massen wie Horste (emporgepreßt?) erscheinen.

Digitized by Google

Die Trennungslinie der beiden Niveauflächen hängt mit den jungen orogenetischen Zonen zusammen. Entweder bilden diese selbst die Grenze oder ihre Nachbarschaft, wenn größere Stücke der Vorländer mit den Orogenen in die Tiefe gezogen worden sind. Das kann so weit gehen, daß ganze Tafeln versenkt werden.

Daraus ergeben sich dann zwei Baupläne: der pazifische und der atlantische. Im ersteren bilden die Orogene die Grenze. Die Tafel ist versenkt. Im zweiten ist das Orogen auf die tiefere Niveaufläche niedergegangen und die Tafel stehen geblieben. Pazifisch ist im allgemeinen die westliche, die Wasserhalbkugel gebaut, atlantisch die östliche, die Landhalbkugel.

Die jungen Kettengebirge scheiden sich auf der oberen Niveaufläche scharf von den erstarrten Tafeln, sind aber auch in gewissen Fällen auf der unteren Niveaufläche (auf dem Ozeanboden) zu erkennen.

Die Anordnung der geotektonischen Einheiten.

Der großen Einheit Eurasien entsprechen im Süden zwei Einheiten: Afrika und Indo-Australien. Europa ist das Gegenstück zu Afrika, Asien im allgemeinen das Spiegelbild zu Indo-Australien. Es ist so auffällig, wie dann das supponierte indische Orogen dem uralischen entspricht, wie wenn es direkt dessen Fortsetzung wäre.

Das ist aber nicht der Fall. Es ist ganz zweifellos, daß zwischen den jungen Ketten, die vom Kaukasus nach Pamir ziehen, und dem Ural kein wie immer gearteter tektonischer Zusammenhang besteht. Die Paläiden des Ural stehen senkrecht auf den mediterranen Mesoiden. Diese gehen mit ihrem jungen Bau über den Ural als Vorland hinweg.

Konnte nicht vielleicht der indische Rücken (Chagos-Maskarenen-Rücken) ein Gegenstück sein zu den Uraliden, also ein Paläidenhorst? Auch die mesozoischen Bildungen in beiden Fällen haben eine entfernte Verwandtschaft.

Dagegen spricht doch die allgemeine, gesetzmäßige und kräftige Deformation des ganzen indischen Gebietes, bis weit hinein in die afrikanische Kontinentalmasse, dann die Existenz der mesozoischen Geosynklinale im Indik, das Heraustreten der Ketten von Oman und vom Indus in den Ozean.

Nordamerika liegt Südamerika gegenüber. Der Bau ist ein recht ähnlicher. Ähnlich breitet sich die nordpazifische Einheit nördlich vom Äquator aus, die südpazifische dagegen im Süden. Ganz abseits liegt die antarktische Einheit. Sie hat kein Gegenstück im Norden.

Die östliche Halbkugel wird also gebildet von: Eurasien, Afrika, Indo-Australien und der Antarktis. Die westliche dagegen von Nord- und Südamerika und den beiden (hypothetischen) pazifischen Massen. Auf jeder Erdhälfte liegen also vier Massen.

Digitized by Google

Interessanter wird die Anordnung, wenn wir die Land- und Wasserhalbkugel mit diesem Bau vergleichen.

Die Wasserhalbkugel grenzt sich durch eine Linie ab, die von Japan über den Sundaarchipel nach Südafrika geht, von da nach Südamerika. Von Lima an folgt dann die Grenze den pazifischen Ketten nach Japan.

Innerhalb dieses Rahmens liegen die geotektonischen Einheiten: Eurasien, Nordamerika, Afrika und Südamerika.

Der Wasserhalbkugel gehören zu: Die beiden (hypothetischen) pazifischen Massen, die indo-australische Einheit, dann die antarktische.

Auf der Landhalbkugel sind fast alle starren Tafeln stehen geblieben, nur Teile der Orogene versenkt, während auf der Wasserhalbkugel die beiden pazifischen Massen vollständig versenkt worden sind, Indo-Australien jedenfalls weit über die Hälfte. Nur die Antarktis ist stehen geblieben.

In dieser Anordnung zeigen sich vier Einheiten auf der Land-, vier auf der Wasserhalbkugel.

Die Trennung in West- und Osthalbkugel hat keine solche tektonische Bedeutung als die natürliche Gliederung in Land- und Wasserhalbkugel.

Die großen Störungsrichtungen der Erde.

Verfolgen wir nun die großen Störungszonen der Erde und suchen wir sie in das Vorhergehende einzufügen.

Wir unterscheiden zweierlei Störungslinien:

1. Die Störungen, die zur Bildung der Ozeane führen, also die Störungen der Trennungsflächen der oberen und unteren Hauptniveauflächen (thalattogenen Linien).
2. Die orogenetischen Störungszonen.

Die ersteren haben große orographische Bedeutung als Scheidelinie von Land und Meer. Die letzteren sind dagegen die tiefgehenden, die ganze Erdrinde durchsetzenden Störungszonen.

Uns interessieren mehr die orogenen Zonen, deren Hauptverlauf und ihr Zusammenhang mit den thalattogenen Linien.

Die allgemeinen orogenen Störungsrichtungen.

1. Die atlantische Richtung beherrscht die tektonische und morphologische Gliederung des ganzen atlantischen Gebietes. Alle Küstenlinien, alle Rücken, alle Tiefenlinien stellen sich in dieser Richtung ein, die allgemeinen N—S-Verlauf hat.

Wir können im einzelnen unterscheiden: einen nord- und südatlantischen Ast, die ungefähr im Plateau der Azoren zusammen-

Digitized by Google

laufen. Von hier aus sehen wir West-Ost-Richtungen abstrahlen, einmal gegen die alpine Region Europas, dann gegen die alpine Zone der Westantillen.

2. Die indische Richtung. Auch sie verläuft N — S, hat aber nicht die große Bedeutung der atlantischen, da sie hauptsächlich nur um den Äquator herum gut entwickelt ist.

3. Die pazifischen Richtungen. Auch sie zeigen hauptsächlich N — S-Verlauf und zerfallen in zwei Hauptzonen, eine im Westen, eine im Osten des Pazifik. Die westliche orogene pazifische Störungszone verläuft von Japan über den Sundaarchipel nach Neuseeland. Die östliche pazifische Störungszone umfaßt die Rocky Mts.- und die andine Region. Wir können hierher zählen: die ostasiatische, die neuseeländische, die Rocky Mts.-, die andine Richtung.

4. Die mediterrane (äquatoriale) Störungszone umfaßt in einheitlichem Zuge die ganze alpine Region von Gibraltar bis zu den Fidji-Inseln, dann die Antillenzone. Allem Anscheine nach gehören hierher die Störungszonen der Ozeaniden. Wenn das der Fall ist, dann schließt sich tatsächlich um die ganze Erde eine orogene Störungszone, die ungefähr dem Äquator folgt.

Diese verschiedenen Störungszonen der Erde bilden eine Einheit, ein zusammenhängendes Netz von Zonen inmitten der kratogenen Felder. Die scharf ausgesprochenen N — S-Richtungen verbinden sich meist hoch im Norden oder tief im Süden in Bögen. Solche sind in ihrer typischen Form der Kapbogen oder der große Bogen der Aleuten, der die west- und ostpazifische Störungszone miteinander verbindet.

Die Vereinigungspunkte der Störungszonen.

Diese großen Störungszonen der Erde knoten sich in auffallenden Feldern, derart, daß drei oder vier solcher orogener Zonen sich mehr oder weniger in einer einheitlichen Region schneiden.

Diese sind oft recht auffälliger Natur und bilden gleichsam Scheitelpunkte der Störungszonen. Einer der interessantesten und typischsten ist in dieser Hinsicht wohl der Schnittpunkt der mediterranen und atlantischen Störungszone. Er liegt im mittleren Atlantik, in dem atlantischen Rückenstück, das ungefähr in den Azoren kulminiert.

Von diesem Scheitelpunkt laufen vier große Störungsrichtungen nach allen vier Weltgegenden auseinander. Das ist die nordatlantische und die südatlantische, dann die Antillen- und die alpine Richtung.

Eine Schnittzone von der gleichen Bedeutung liegt im Gebiete des Pazifik, wo sich die pazifischen Richtungen mit der mediterranen

Digitized by Google

schneiden. Wieder sind es große Schnittzonen, in denen sich vier Richtungen, mehr oder weniger aufeinander senkrecht stehend, schneiden.

Die eine Zone liegt um die Galapagos-Inseln, die zweite etwa im Raume der Fidji-Salomon-Inseln.

In den beiden Zonen schneiden sich die nord-südlaufenden pazifischen Linien mit der äquatorialen Störungszone. Immer laufen vier Störungsstränge zusammen.

In der Ecuador-Galapagos-Region treffen sich die nordamerikanische, die andine, die Antillen- und die Ozeaniden-Richtung. In der Fidjizone verbinden sich die neuseeländische und die ostasiatische durch den Sundabogen und damit zugleich auch die himalayanische Richtung mit der der Ozeaniden. Diese Schnittzonen sind vor den anderen ausgezeichnet dadurch, daß regelmäßig vier Richtungen zusammenlaufen, zum Unterschied von den Schnittpunkten im Beringmeer, wo sich nur drei Richtungen treffen, indem von der pazifischen Richtung (dem Aleutenbogen) die atlantische Störungszone abzweigt. Ähnlich ist es auf der Gegenseite, der Anknüpfungsstelle der atlantischen Richtung an die Zone, welche vom Pazifik in den Indik (über Grahamland, die Crozet-Schwelle) laufen soll. Solche dreischnittige Störungszonen sind weiter im Indik zu finden, auf der Kerguelen-Schwelle, dann im Pazifik, auf der Schwelle im Süden von Neuseeland.

Die Hauptstörungszonen und deren Hauptschnittpunkte.

Wir können zwei Hauptstörungszonen herausnehmen. Das ist die mediterrane, äquatoriale, und die pazifische Richtung, die wir auch, weil sie von Pol zu Pol läuft, die polare nennen wollen.

Erstere verfolgen wir, wie bereits gesagt, von Gibraltar in geschlossenem Zuge bis auf die Fidji-Inseln. Ihre Fortsetzung geht über die Inselketten der Ozeaniden, über die Osterinseln gegen Ecuador und verbindet sich weiter über die Antillen mit der alpinen Region.

Diese Störungszone ist jedenfalls als eine Einheit von Ecuador über die alpine Region bis in den Sunda-Archipel vorhanden und hat die Eigenschaft, daß sie in diesen beiden Endpunkten im Äquator aufgehängt ist, während sie in den Alpen von dem Äquator um ca. 40° nach Norden abgebogen ist. Der Scheitel dieses Bogens halbiert ungefähr wieder den (halben) Kreisbogen Ecuador-Sumatra.

Die z. T. hypothetische Störungszone der westlichen Erdhälfte verbindet über die Ozeaniden Ecuador und Sumatra. Wieder ist der Bogen der Ozeaniden, ungefähr auf den halben Kreisbogen wieder, ganz ähnlich wie in den Alpen, um 40° vom Äquator abgebogen, und zwar nach Süden. So schließt sich eine äquatoriale, weithin sicher zu verfolgende Störungszone als ein größter Kreis um die Erde. Er hängt in Ecuador

Digitized by Google

und Sunda-Archipel im Äquator, biegt aber jedesmal gesetzmäßig (im halben Kreisbogen) um 30—40° vom Äquator nach Norden und Süden ab. Alle diese Punkte liegen antipodal.

Die zweite Hauptstörungsregion, die pazifische, umgürtet mit Kettengebirgen den pazifischen Ozean. In diesem strengen Sinne ist sie kein größter Kreis. Sie wird aber sofort zu einem solchen, wenn wir in diese Störungszone noch die Antarktis einbeziehen. Dann würde die große Störungszone ein größter Kreis sein, der ungefähr auf dem äquatorialen Orogen senkrecht stände und der über die Aléuten, über den Sundabogen, über den himalayanisch-indischen Bogen nach Grahamland, in die andine Region zu ziehen wäre. Das ist die große polare Störungszone, das polare Orogen.

Wenn diese Verbindung erlaubt ist, dann ergeben sich interessante Beziehungen des Baues der Erde zu ihrer Gestalt und ihrem Entwicklungsprinzip.

Gestalt der Erde. Oktaedrische Deformation.

Das polare Orogen, wie wir es hier abgegrenzt haben, fällt fast mit der Grenze der heutigen Landhalbkugel zusammen. Die Linien stimmen nicht ganz im Gebiete des Indik. Hier verläuft die Grenze der Landhalbkugel etwa von Sumatra quer durch den Indik gegen Südafrika, während unsere orogene Zone in weitem Bogen gegen NW zurückweicht, um im großen himalayanischen Bogen auf den indischen Rücken zuzustreben. Im großen und ganzen aber stimmt die Linienführung ziemlich überein.

Demnach könnte man sagen, die Landhalbkugel der Erde liegt innerhalb einer größten Störungszone, besteht aus vier großen Massen, die ihre Spitze gegen die Azoren richten.

Die Landhalbkugel hat bis zu einem gewissen Grade den Aufbau einer vierseitigen Pyramide, bei der die Flächen von den erstarrten Tafeln (Landmassen), die Kanten von den Gebirgen, den Orogenen, gebildet werden. Die Spitze der Pyramide liegt ungefähr in dem Scheitelpunkte der Azoren, nicht zentral, sondern ziemlich exzentrisch.

Wir wissen, wie von hier aus nach Norden, Süden, Osten und Westen die großen Störungszonen in die Nordatlantis, in die Südatlantis, in die Antillen, in die Alpen auseinanderlaufen, wie dazwischen sich die Tafelmassen der kontinentalen Schollen von Nord- und Südamerika, von Eurasien und Afrika ausbreiten.

Die Wasserhalbkugel bestünde ebenfalls aus vier Feldern, die sich in der breiten Scheitelregion von Neuseeland bis zum Sunda-Archipel vereinigen. Die vier großen Massen wären: die nord- und südpazifische Masse, dann Indo-Australien und die Antarktis. Auch diese vier Massen formen annähernd einen vierseitigen, pyramidenartigen Körper, mit der

Digitized by Google

Spitze ungefähr gegen Neuseeland. Wieder bilden die Tafeln die Flächen der Pyramide, die Orogene die Kanten. Die Basis ist die Linie des polaren Orogen.

So ließe sich gerade für die Gestalt der Erde eine der Kugelgestalt sehr nahestehende Grundform, eine oktaedrische Deformation des Erdkörpers annehmen, ja bis zu einem gewissen Grade sogar wahrscheinlich machen.

Das Pendeln des Erdkörpers.

Wir haben auf den eigentümlichen Bau des äquatorialen Orogen hingewiesen und wollen nun dessen geologische Bedeutung kurz erörtern.

Das eine ist zweifellos sicher, daß z. B. der Bogen Ecuador — Alpen — Sunda-Archipel in den Alpen vom Äquator um 40° nach Norden gewendet ist. Wenn diese Region, wie bisher so oft angenommen worden ist, für das Mesozoikum tatsächlich die äquatoriale Zone repräsentiert — der Kalkreichtum, die faunistischen Verhältnisse der Tethys sprächen dafür —, wenn damals dann nördlich und südlich dieser Zone gemäßigte Klimate vorhanden gewesen wären, dann hat diese alpine Region gegenüber dem Äquator der Gegenwart eine Veränderung erfahren. Dann kommen wir auch aus rein tektonischen Motiven zur Annahme des Pendelns dieser Region, des Pendelns des Erdkörpers im ganzen, wie das die Pendulationstheorie von Simroth verlangt: Die Erde pendelt seit dem Mesozoikum im Schwingungskreis der Alpen, bezw. der polynesischen Inseln und hängt im Schwingungspol von Ecuador und Sumatra fest.

Wenn wir dabei unseres Erdoktaeders gedenken, so könnten wir sagen: Das Erdoktaeder pendelt ungefähr mit seiner Spitze in den Azoren (polynesischen Inseln) um die Äquatorlage seit dem Mesozoikum.

Bekanntlich hat Simroth das Prinzip des Pendels auch für das Paläozoikum aufgestellt. Wir wollen darauf nicht eingehen. Soweit ist der Bau der Erde für das Paläozoikum nicht zu erkennen. Ebensowenig wollen wir uns hier mit den biologischen Konsequenzen der Simroth'schen Pendulation befassen. Die gehören nicht in unseren Bereich und dürften wahrscheinlich auch nicht eine Erklärung der Erscheinungen des Lebens geben.

Wir haben hier nun versucht, alle Konsequenzen des Baues der Erde, wie sie sich heute ergeben, zusammenzufassen und sind dabei auf Wege gelangt, die bisher von den Geologen nicht beachtet worden sind, obwohl doch eine Fülle ganz eigenartiger Verhältnisse für sie spricht.

Digitized by Google

Morphologie der Erde.

Wir kennen die Grundzüge des tektonischen Aufbaues der Erde und wollen nun auf die Beziehungen zur heutigen Oberflächengestaltung der Erde hinweisen.

Es wurde hier schon oft die enge Beziehung zwischen der inneren und äußeren Bauform betont. Es wurde die allgemeine Abhängigkeit der Form vom Bau aufgezeigt.

So zeigen die alten erstarrten Tafeln die Oberflächenform der Ebene, der Fast-Ebene auf große Räume der Erde. Die Kettengebirge treten morphologisch scharf hervor. Die Schollengebirge zeigen einen festen Typus. Die Vortiefen der Erde, die großen Mulden, die Becken der ozeanischen Senken haben wir als wohl charakterisierte Formen festgehalten, in strenger Abhängigkeit vom inneren Aufbau der Erdrinde. Die Umrisse der Kontinente sind als vorbestimmt zu bezeichnen, führen auf die alten mesozoischen, erstarrten Massen zurück. Die großen, die kleinen morphologischen Formen hängen mit dem Bau der Erde zusammen. Die rein klimatischen Formen, wie die Wüsten, sind bedingt zum großen Teile noch durch die Bauformen ihres Bodens. Die auf der Erde so weithin zu verfolgenden Ebenheiten in Tafelländern, in Schollengebirgen lassen sich aus dem Bau dieser Zonen erklären.

Die größten morphologischen Hochformen fallen mit Orogenen zusammen. In der Richtung dieser großen Störungszonen folgen die morphologischen Deformationen. Genau so wie die großen Störungszonen sich in Bogen verbinden, so verbinden sich auch die allgemeinen Bodenverhältnisse der einzelnen Kontinentalmassen.

Die allgemeine Anordnung der morphologischen Konfiguration einer Kontinentalmasse ist vom tektonischen Aufbau vollständig abhängig.

Wir wollen das vielleicht an Eurasien zeigen. Ein großer einheitlicher morphologischer Bau beherrscht Ostasien. Gebirgszüge streichen gegen NO. So das Jablonoigebirge. Aber auch alle anderen morphologischen Linien von größerer Bedeutung zeigen diesen Verlauf. Betrachten wir eine physische Karte von Asien. Die große Tiefebene im Norden Asiens zeigt sich längs der 200 m-Linie von einem Bogen begrenzt, der sich von der Lena über den Baikalsee in das Innere Rußlands verfolgen läßt, ein Bogen, der aus der pazifischen Richtung in die mediterrane übergeht. Der breite Wolgarücken stellt sich in die alpine Richtung ein. Der Ural teilt die beiden großen Ebenen seines Westens und Ostens, aber er selbst ist eine junge Linie auf altem Stamme, ein wenig aus der Niederung der Tafel, in der alten Orogenrichtung, emporgehoben.

Digitized by Google

So wie dieser innere morphologische Bogen, der auf jeder besseren physikalischen Karte Asiens zu erkennen ist, zieht auch die Kettengebirgsregion in einem äußeren viel komplizierter gebauten Bogen vom Osten Asiens nach dem Westen.

Wenn wir die Karten der anderen Kontinentalmassen studieren, so werden wir überall die gleichen engen Beziehungen zwischen dem inneren und dem äußeren Bau finden, eine allgemeine Abhängigkeit der Konfiguration, der Wasserführnng vom Bau. Gerade die Flußlinien sind die feinsten Apparate für die Beurteilung der tektonischen Bewegungen und sind bei jeder tektonischen Betrachtung einer Kontinentalmasse zu Rate zu ziehen.

Das feinere Bild der Abhängigkeit von Morphologie und Tektonik der Erde wird vielleicht an anderem Orte gegeben werden. Hier wollen. wir uns mit dem Hinweis auf diese enge Beziehung begnügen.

Die Schwereverhältnisse (Dichte) der Erdoberfläche.

Auch hier kann nur auf die allgemeine Seite dieser Erscheinnngen eingegangen werden.

Wir wissen, daß im Bau der Erde jedenfalls verschiedenartige Massen sich finden. Es ist ein primärer tektonisch-petrographischer Gegensatz vorhanden im Bau der Archäiden und der Orogene im allgemeinen.

Die ersteren sind zweifellos dichter, fester, starrer gebaut, bestehen aus schwereren Gesteinen als die orogenetischen Zonen, besonders die jungen, die lockerer gebaut sind. Somit müssen auch die Schwere-(Dichte-)Verhältnisse in beiden Zonen verschieden sein.

Orogene und Kratogene haben primär tektonisch-petrographisch verschiedene Schwere. Und zwar werden die Orogene relativ geringere Schwere zeigen als die Kratogene.

Das stimmt auch mit den Schweremessungen im allgemeinen. Wir wissen, daß in den Kettengebirgen im allgemeinen die Schwerewirkung eine geringere ist als auf den kontinentalen Tafeln. Das haben wir eingangs an dem Beispiele der Alpen besprochen.

In den Orogenen werden gewaltige Gesteinsmassen viele Kilometer hoch übereinander geschoben. Unter der ungeheuren Überlastung sinkt das Orogen immer tiefer, es setzt sich, wenn nicht Zusammenpressung vorhanden ist, die den Gebirgswall in die Höhe preßt. In der Tiefe aber ist die tiefere simatische Zone der Erde durch das fortwährende Übereinanderhäufen salischer Massen verdrängt worden. So ist eine mächtige Schweresynklinale entstanden und die auf das Pendel wirkende simatische Zone liegt vom Pendel weiter entfernt als unter den starren Massen. Das Pendel wird also im orogenen Felde unter den gleichen

Digitized by Google

Voraussetzungen weniger von der simatischen Zone beeinflußt. So ergibt sich die geringe Zahl der Pendelschwingungen, der scheinbare Massendefekt dieser Rindenteile.

Hier ist auf die Erscheinung hinzuweisen, daß in Zwischengebirgen, so in der ungarischen Tiefebene, sich hohe positive Werte einstellen. Offenbar ist hier das Orogen so tief versenkt, liegen so große schwere kristalline (alte) Massen in der Tiefe, daß der orogene Schweredefekt nicht mehr zum Ausdruck kommen kann.

Bei der Einheit der Rinde müssen wir die gleichen Gesetze gelten lassen für den Bau der Ozeane, der nach allen Erfahrungen auch nur aus kratogenen und orogenen Feldern und Zonen bestehen kann.

Es ist schon früher darauf hingewiesen worden, wie die Schweremessungen auf dem Meere von Suess besonders angezweifelt worden sind. Von unseren Erfahrungen aus müssen wir über dem Meere im allgemeinen geringere Schwere erwarten, als in den Kontinenten; denn die simatische Schicht liegt im allgemeinen doch viel tiefer.

Die Ergebnisse waren jedoch meist positive Werte über dem Meere und Suess suchte zu zeigen, daß diese positiven Werte durch submarine Höhen zu erklären wären, die besonders eingewirkt haben.

Aus isostatischen Gründen neigt man zur Vorstellung, daß die Kontinente leichter seien als die ozeanischen Becken. Denn die Hypothese der Isostasie der Erde verlangt Gleichgewicht für die gleichgroßen kontinentalen und ozeanischen Räume. Da die Ozeane doch oberflächlich einen Massenabgang zeigen gegenüber den Kontinenten, so muß schwereres Gestein auf dem Boden der Ozeane vorhanden sein. Man sagt auch, große basische Massen sollen am Grunde der Ozeane liegen.

Wir haben zurzeit noch keine Möglichkeit, den Meeresboden nach dieser Hinsicht zu erforschen. Ebensowenig ist sicher, daß die Kontinente und die Ozeane ausgeglichen sind, wenngleich, wie gesagt, ein gewisses Gleichgewichtsverhältnis zwischen der oberen und unteren Hauptniveaufläche der Erde doch wahrscheinlich ist.

Der Vulkanismus der Erde.

Der Zusammenhang von Gebirgsbildung und Vulkanismus ist längst bekannt. Wir sehen auch, wie z. B. der junge Vulkanismus in seiner Gesamtheit hauptsächlich in den orogenen Zonen lebendig wird. Und zwar ist es die orogene Phase, die Zeit der Gebirgsbildung, die besonders dem Magma die Wege öffnet an die Oberfläche. Das ist der orogene Vulkanismus. Eine zweite Art von Hervordringen des Magmas bietet sich in den Feldern der Kratogene. Man möchte fast von einem kratogenen Vulkanismus sprechen, der auf Spalten an die Oberfläche kommt. Das ist der atlantische Vulkanismus.

Digitized by Google

Der orogene Vulkanismus liefert in der Zeit der großen Gebirgsbildungen die metamorphen vulkanischen Gesteine, unter denen die grünen Gesteine eine wichtige Rolle spielen. Alle Gesteine aber aus dieser orogenen Phase scheinen pazifische Typen zu sein. Im scharfen Gegensatz dazu stehen die Gesteine der geosynklinalen Phase, der Zeit der ruhigen Sedimentbildung in der Geosynklinale. Da werden atlantische Magmen gefördert.

Tritt ein Orogen aus der orogenen Phase wieder in die geosynklinale, so erscheinen offenbar wieder auf Spalten die Magmen der Tiefe, die atlantischen Gesteine, genau so wie im kratogenen Felde. Hier steigen an Spalten die Magmen der Tiefe (unverändert) in die Höhe. Es sind atlantische Gesteine.

Das Gros des Vulkanismus geht mit der gewaltigen Deformation der Erdrinde im Orogen in der Zeit der orogenen Phase. Gering ist der Vulkanismus der geosynklinalen Phase. Hier ist die Erdrinde doch viel ruhiger. Gering ist der Vulkanismus der Kratogene. Darum ist der pazifische Vulkanismus soviel bedeutender als der atlantische, sowohl im mesoiden und paläiden Zyklus und wahrscheinlich auch in jedem noch älteren Zyklus. Darum verschwinden in der älteren Zeit so sehr die atlantischen Gesteine.

Die Differenzierung der beiden Sippen ist älter und hängt mit allgemeinen tektonischen Vorgängen zusammen, derart, daß wir die pazifischen Gesteine immer nur als die orogene Fazies sehen, als jenen Vulkanismus, der nur im Orogen vorkommt und mit den Prozessen der Gebirgsbildung, den großen Bewegungen, der Einschmelzung der Erdrinde in den orogenetischen Zonen in engstem Zusammenhange steht.

Wir werden uns denken müssen, daß die großen orogenen Bewegungen große Gesteinskörper einschmelzen, daß sich im Orogen große Intrusionsmassen (Batholithen), besonders in den Wurzelgebieten, zur Zeit der großen Bewegungen einstellen, daß diese abgeschnürt werden können, aber doch ihre Agilität beibehalten, so daß aus diesen sekundären Herden immer noch pazifische Magmen entfließen können. Auf der anderen Seite aber können bereits Wege in die magmatische Tiefe sich erschlossen haben und so wird das normale Magma gefördert. Unserer Meinung nach ist das pazifische Magma nur die orogene Fazies des Magmas der Tiefe. Das Magma der Tiefe ist das atlantische.

Die Erdbeben.

Der Zusammenhang der (tektonischen) Beben mit der Gebirgsbildung ist seit langem bekannt und soll hier besonders betont werden. Wir wollen hier nur darauf hinweisen, daß die großen Bebengebiete der Erde in orogenetischen Zonen liegen, oder in Zonen, die hier als solche


Digitized by Google

angesprochen worden sind. Interessant sind in dieser Hinsicht die Region des indischen Rückens, des polynesischen Inselzuges, dann der atlantische Rücken. Dabei sollen sich nach Schaffer die Erdbeben in einem Gürtel von 30°—40° um den Äquator häufen.

Vergleich der Kontinentalmassen miteinander.

Vergleichen wir den Bau der Kontinentalmassen miteinander, um die Gesetzmäßigkeit ihres Baues, ihre Abhängigkeit von einer Grundform aufzuzeigen.

Diese Grundform ist die geotektonische Einheit, die vom orogenen Ring allseitig umschlossen ist und die in sich aus Archäiden + Paläiden (aufgebaut) erstarrt ist.

Dieser Grundform kommt noch am nächsten Eurasien. Wir sehen den orogenen Ring auf dem ganzen Südrande vorhanden, von Gibraltar bis nach Borneo. Auch die Ostumrahmung ist vom Äquator bis nach Sachalin sichtbar. Es fehlt das atlantische, das arktische Umrahmungsstück, das unserer Meinung nach versenkt ist. Das alpine Orogen tritt im Atlas, in der betischen Kordillere (oder, wenn hier ein Bogen im Sinne von Suess vorhanden wäre, in den Pyrenäen) mit dem atlantischen Orogen in Verbindung. Alle Linien stehen in Abhängigkeit von der orogenen Zone. Das kratogene Feld selbst ist kompliziert aus Archäiden, Proteroiden und Paläiden aufgebaut.

Afrika hat den orogenen Ring nur mehr im Norden um seinen kontinentalen Leib gegürtet. Südamerika dagegen im Westen und im Norden, ähnlich wie Nordamerika. Indo-Australien hat dagegen die orogene Umrahmuug im Norden und Osten.

Der Bau von Afrika und Südamerika wäre der gleiche, wenn im Westen von Afrika der supponierte atlantische Rücken aus der Tiefe des Ozeans zutage käme und mit seinem östlichen Vorlande bis zum Kap der guten Hoffnung verschmelzen würde. Der Bau von Südamerika würde noch mehr mit dem von Nordamerika übereinstimmen, wenn der supponierte westliche Stamm, der unserer Meinung nach etwa über die Insel Juan Fernandez geht, vorhanden wäre. Umgekehrt würde Afrika mehr Indo-Australien gleichen, wenn die alpine Zone des Mittelmeeres über Oman hinaus noch sichtbar über den Chagos-Maskarenen-Rücken etwa bis auf das Kerguelen-Plateau vorhanden wäre. Wäre diese orogene Zone da, so gliche sie auch der Ostumrahmung Asiens. Die Schollenbrüche Ostasiens wären prinzipiell dasselbe wie die ostafrikanische Grabenreihe.

Diese interessanten und lehrreichen Vergleiche kann man noch vielfach anstellen. So hat Eurasien als Ganzes ein Gegenstück in den vereinigten Einheiten von Afrika und Indo-Australien.

Digitized by Google

Gemeinsam ist beiden die mediterrane Region von Gibraltar bis in den Sunda-Archipel. Die Ostflanken zeigen die stark nach Osten vortretenden Bögen von Japan und Neuseeland. Gemeinsam sind die großen Vortiefen. Die polare Region ist weitgehend in beiden Fällen eingebrochen. Während Europa mit Asien im Ural landfest verbunden ist, legt sich der Indik trennend zwischen Afrika und Australien. Die Westumrahmung ist in beiden Fällen ein Stück des atlantischen Rückens.

Indem wir so diese Einheiten der Kontinentalmassen vergleichen, erkennen wir immer mehr die große Gesetzmäßigkeit ihrer Baupläne und die der Deformierung der Erdrinde.

Entwicklungsgeschichte des Baues der Erde.

Wir haben nunmehr den Bau der Erde in seinen Teilen analysiert und wollen nun versuchen, einen Überblick über die Entwicklungsgeschichte des Baues der Erde zu geben.

Wir werden zunächst versuchen, auf Grund des gegenwärtigen Baues die allgemeinen Züge der Gestaltung der Erdoberfläche während des Mesozoikum zu zeichnen.

Wir haben gesehen, wie im Baue der Erde die großen geotektonischen Einheiten hervortreten. Das sind: Die kratogenen Felder und die orogenen Ringe der Mesoiden.

Wir konnten im ganzen acht solcher Einheiten im Baue der Erde festlegen und zeigen, daß in sechs Fällen diese kratogenen Felder mit den gegenwärtig noch existierenden Kontinentalmassen zusammenfallen. Auf der anderen Seite konnten wir den Nachweis erbringen, daß die orogenen Ringe in der Tat fast bis auf die Hälfte der Fälle mit echten Orogenen, also mit Geosynklinalen, in Verbindung zu bringen sind.

Die acht kratogenen Felder bilden also die Grundmauern für die Kontinentalmassen des Mesozoikum. Die orogenen Ringe werden wir in den meisten Fällen direkt als die Achsen von Geosynklinalen, also ozeanischer Gebiete, ansprechen können.

So erhalten wir die Grundlagen für die Gliederung der Erdrinde in seine Großformen während des Mesozoikum.

Die Kontinentalmassen des Mesozoikum.

Nach unseren Erfahrungen haben wir für das Mesozoikum folgende kontinentale Massen anzuehmen:

1. Nordamerika einschließlich Grönland. Existiert zweifellos.
2. Europa und Asien, ohne Arabien, Indien und die Tschutschkenhalbinsel. Existiert zweifellos.
3. Die nordpazifische Kontinentalmasse. Hypothetisch.

Digitized by Google

4. Südamerika, weit nach Osten in den Atlantik reichend. Existiert zweifellos.
6. Indo-Australien. Existiert als Einheit höchstwahrscheinlich.
7. Die südpazifische Kontinentalmasse. Hypothetisch.
8. Die Antarktis. Existiert zweifellos.

Die mesozoischen Geosynklinalen.

Wir haben an mesozoischen Geosynklinalen folgende als ganz sicher existierend:

1. Die äquatoriale Geosynklinale durch Mittelamerika, durch Südeuropa und Südasien ziehend. Es ist die Geosynklinale der Tethys, oder die alpine Geosynklinale, wie sie gerne genannt wird. Diese Geosynklinale reicht zweifellos von den Antillen bis auf den Sunda-Archipel (mediterrane Geosynklinale).

2. Die pazifische Geosynklinale ist jene Geosynklinale, die den Pazifik einsäumt, die Geosynklinale, aus der die den Pazifik umrahmenden Ketten hervorgegangen sind. Die große Geosynklinale fällt auf große Strecken mit unserer polaren Störungszone zusammen. Die pazifische Geosynklinale umfaßt die japanische, die nordamerikanische (Rocky Mts.), die andine, dann die neuseeländische und offenbar das Verbindungsstück, das von hier zu den Antarktanden auf Grahamland gezogen werden muß. Dieses ganze große Geosynklinalgebiet steht bis auf das letztgenannte Verbindungsstück fest.

3. Das madagassische (indische) Geosynklinalgebiet ist ebenfalls auf Grund der mesozoischen Funde in Madagaskar, in Ost- und Südafrika sichergestellt. Unsicher ist nur sein Verlauf. Haug hat bisher die Geosynklinale zwischen Madagaskar und dem Kontinent angenommen. Unserer Auffassung nach ist dies nicht richtig. Es dürfte den Tatsachen näher kommen, wenn wir das Geosynklinalgebiet weiter ostwärts, in der Region der indischen Rücken annehmen. Hier lag die Geosynklinale. Von hier aus erfolgten die Transgressionen nach Westen und Osten. In neuerer Zeit ist von Wilckens bereits eine Verbindung dieser Geosynklinale auf die andine zu gezeichnet worden. Unserer Meinung nach mit vollem Rechte. In der Oberkreide ist die Verbindung zweifellos an den indischen Elementen der Lebewelt auf Grahamland zu erkennen. Bekannt sind ja auch die Beziehungen der südafrikanischen Unterkreide (Kapgebirge) zu der von Südamerika.

Durch unsere tektonischen Analysen sind wir zur Annahme einer polynesischen und einer südaustralischen Geosynklinale gekommen. Diese Geosynklinalen sind eigentlich kleinere Geosynklinalabschnitte großer, sicher existierender Geosynklinalen. Die polynesische nur das Verbindungsstück der äquatorialen Geosynklinale, vom

Digitized by Google

Sunda-Archipel nach Mittelamerika, und die südaustralische die Verbindung von der madagassischen zur neuseeländischen Geosynklinale.

Die atlantische Geosynklinale haben wir vor allem aus tektonischen Gründen angenommen. Sie ist hypothetisch. Aber es ist in hohem Grade wahrscheinlich, daß sie existierte. Dafür sprechen die neu entdeckten mesozoischen Ablagerungen Zentralafrikas, die mesozoischen Schichten auf Kap Verden, überhaupt alle mesozoischen Ablagerungen der Umrahmung des Atlantik. Man hat bisher stets Afrika und Südamerika, ebenso Eurasien und Nordamerika zu einer großen mesozoischen Landmasse verbunden. Mit großem Unrechte und in allgemeiner Verkennung der Verhältnisse, aus negativen Merkmalen. Nur aus dem Grunde, weil man keine mesozoischen Ablagerungen kannte. Ähnlich hatte man Indo-Afrika zu einer Einheit im Mesozoikum verschmolzen, bis man die Trias auf Madagaskar fand. Hennig hat zuerst auf die große Bedeutung der afrikanischen Ablagerungen des Mesozoikum hingewiesen. Diener hat sich für die Existenz eines atlantischen Ozeans während des Mesozoikum ausgesprochen, freilich auf ganz anderer Basis stehend als wir. Es ist aber interessant zu sehen, wie hier auch die Notwendigkeit der Existenz eines atlantischen Ozeans während des Mesozoikum aus faunistischen Gründen empfunden wird. Wir schließen uns hier diesen Gründen vollständig an und fügen noch unsere tektonischen Gründe dazu und hoffen, damit endlich einer richtigeren Beurteilung der paläogeographischen Verhältnisse des Mesozoikum den Weg eröffnet zu haben.

Land und Meer im Mesozoikum.

Wenn wir nun versuchen, die Verteilung von Land und Meer im tieferen Mesozoikum zu rekonstruieren, so kommen wir auf Grund des Baues der Erde etwa zu folgendem Bild.

1. Kontinente.

Europa und Asien (mit Ausnahme von Arabien und Indien) sind zu einer großen Kontinentalmasse verschmolzen. Diese Einheit, Eurasien, wird allseits von einem Meer umspült. Im Süden ist es die Tethys, das zentrale Mittelmeer, im Norden ist es der Arktik, im Osten ist es der Pazifik (japanisches Geosynklinalgebiet), im Westen ist es der Atlantik.

Nordamerika schließt sich westwärts an Europa als nächste Kontinentalmasse der Nordhalbkugel an, im Osten vom Atlantik, im Süden von der Tethys, im Westen vom Pazifik, im Norden vom Arktik umflossen.


Digitized by Google

Die nordpazifische Kontinentalmasse ist hypothetisch und liegt zwischen Eurasien und Nordamerika, auf dem Gebiete des heutigen Pazifik, etwa mit dem Kern in Hawai. Diese Kontinentalmasse wird vom Pazifik allseits umsäumt, im Westen ist es der japanische Abschnitt, im Osten der nordamerikanische, im Süden der polynesische. (Sunda-Archipel).

Afrika bildet im Mesozoikum ein großes Kontinentalfeld, im Westen vom Atlantik, im Süden vom Antarktik, im Osten vom Indik, im Norden von der Tethys umgeben. Arabien gehört noch zu dieser Kontinentalmasse.

Indo-Australien bilden zusammen eine Einheit, im Norden von der Tethys, im Osten vom Pazifik (neuseeländische Geosynklinale), im Süden vom Antarktik (südaustralische Geosynklinale), im Westen vom Indik (madagassische Geosynklinale) umflossen.

Die südpazifische Masse ist eine weitere (hypothetische) Kontinentalmasse, im Norden von dem polynesischen Abschnitt der Tethys begrenzt, im Osten vom Pazifik (andine Geosynklinale), im Süden vom Antarktik (Geosynklinalgebiet von Grahamland-Neuseeland), im Westen vom Pazifik (neuseeländische Geosynklinale) begrenzt.

Die südamerikanische Kontinentalmasse ist zweifellos wieder vorhanden, begrenzt im Norden von der Tethys, im Westen vom Pazifik (andine Geosynklinale), im Süden vom Antarktik (Geosynklinalgebiet der Süd-Orkney-Inseln), im Osten vom Südatlantik.

Die antarktische Kontinentalmasse, umgeben von einem einheitlichen Meeresgebiet, dem antarktischen Ozean, die Verbindung bildend zwischen dem Süden des Atlantik, des Indik und des Pazifik. Diese Kontinentalmasse existiert zweifellos.

2. Ozeane.

Vereinigen wir nun die geosynklinalen Gebiete zu ozeanischen Senken. Wir können sagen:

Es existierten sicherlich:

1. Der Mediterranik, d. i. die alpine Geosynklinale, die Tethys zwischen Europa Asien einerseits, und Afrika und Indo-Australien andererseits.
2. Der Indik, auf dem Boden der madagassischen Geosynklinale, umrahmt von Afrika, Indo-Australien und der Antarktis.
3. Der Nordpazifik, über der Geosynklinale, die über die ostasiatischen Bögen in die Kordillere Nordamerikas läuft.
4. Der Mittelpazifik, ist hypothetisch, trennt die nord- und südpazifische Kontinentalmasse. Lag über dem heutigen Polynesien.
5. Der Südpazifik, der Geosynklinale Grahamland-Neuseeland folgend.

Digitized by Google

6. Der **Arktik**, die Polarregion der nördlichen Halbkugel einnehmend.
7. Der **Atlantik**, an Stelle des heutigen Atlantik.
8. Der **Antarktik**, das Meer, das die Antarktis umsäumt.

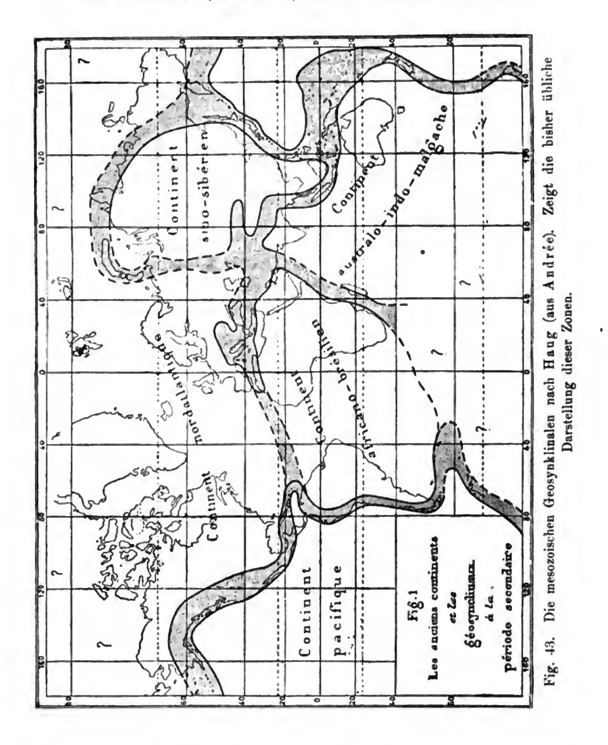


Fig. 43. Die mesozoischen Geosynklinalen nach Haug (aus **Andrée**). Zeigt die bisher übliche Darstellung dieser Zonen.

Die Permanenz der mesozoischen Kontinentalmassen und Ozeane.

Wir sehen also ganz zweifellos, daß die sechs großen Kontinentalmassen, nämlich: Nordamerika, Eurasien, Südamerika, Afrika, Indo-Australien und die Antarktis seit dem Mesozoikum existieren, permanent

Digitized by Google

sind. Die beiden hypothetischen kontinentalen Massen des Pazifik sind unserer Annahme nach erst jung versenkt worden.

Auf der anderen Seite sehen wir, daß im Gebiete des heutigen

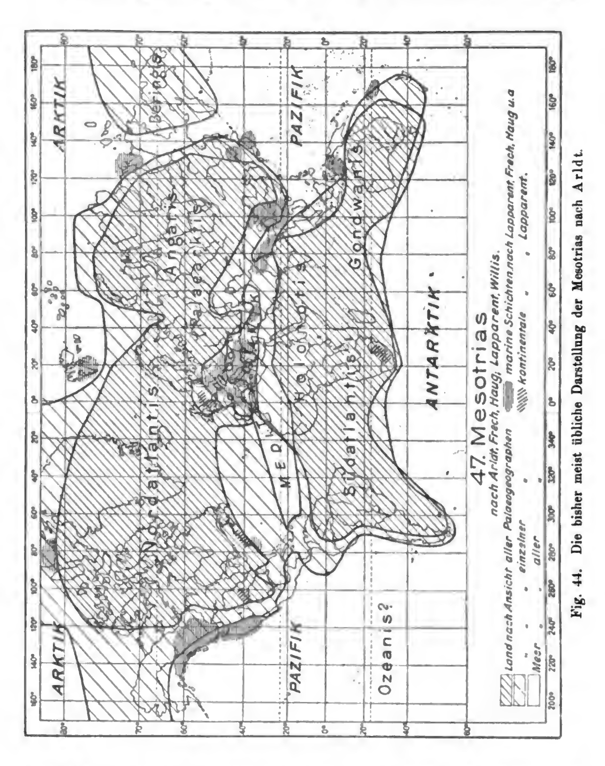


Fig. 44. Die bisher meist übliche Darstellung der Mesotrias nach Arldt.

Atlantik, Indik, Arktik, Antarktik, des Pazifik, auch im Mesozoikum Ozeane angenommen werden müssen, die z. T. mit den heutigen Ozeanen in gewissem Sinne sich decken, z. T. etwas anders gelagert gedacht werden müssen. Dazu kommt noch der Mediterranik.

Digitized by Google

Die Kontinentalmassen, die wir heute sehen, sind zweifellos seit dem Mesozoikum permanent, d. h. sie existierten als selbständige getrennte kontinentale Schollen.

Fig. 45. Die bisher meist übliche Darstellung des Obereozän nach Arldt.

Die Ozeane sind in dem Sinne permanent, daß die ausgepreßten Geosynklinalen neuerdings eingebrochen sind, also der geosynklinale Zyklus neuerdings eingesetzt hat. Wie wir uns das denken, geht aus Folgendem hervor. Der mesozoische Atlantik bildete eine Geosynklinale.



Diese wurde im kretazisch-tertiären Orogenzyklus der Erde zu einem Orogen. Die Geosynklinale ist ausgepreßt, zu einem Kettengebirge geworden. Dieses ist aber neuerdings eingebrochen. Der orogene Zyklus ist durch einen neuen geosynklinalen ersetzt. So folgt auf den Atlantik des Mesozoikum, auf dem Wege der Orogenbildung, der Atlantik der Gegenwart. In diesem Sinne ist der Atlantik permanent. Dies gilt unserer Meinung nach für den Indik, den Antarktik, den Arktik und im großen und ganzen auch für den Pazifik, der aber nicht aus einer einzigen Geosynklinale des Mesozoikum stammt, sondern aus dem Niederbruche der nord-, mittel- und südpazifischen Geosynklinale samt den eingeschlossenen kontinentalen Massen entstanden ist. Von allen Ozeanen ist bloß der Mediterranik allein landfest geworden und geblieben.

Heutige Geosynklinalgebiete.

Wenn dies richtig ist, dann hätten wir auch gegenwärtig in den Ozeanen Formen vor uns, die z. T. wenigstens als Geosynklinalen angesprochen werden müßten, und wir müßten uns fragen, welche Teile der Ozeane kämen hiefür in Betracht.

Wir können auch hier nur wieder ganz allgemeine Gesichtspunkte geltend machen und möchten vor allem als geosynklinalen Typus eines Ozeanes den Atlantik anführen. Der Atlantik ist eine ca. 3000 km breite Meereszone, die durch den atlantischen Rücken in zwei sekundäre Geosynklinalen geteilt wird, einzelne tiefere Mulden aufweist, also ganz und gar das Bild einer Geosynklinale bildet, wie wir es uns denken, besonders im Anfangsstadium der geosynklinalen Phase, wo die Geosynklinale noch nicht so weit differenziert ist.

Auch der Indik, Arktik bilden mehr oder weniger langgestreckte Zonen mit longitudinaler Gliederung, die ganz gut als geosynklinale Gliederung bezeichnet werden kann.

Ganz anders freilich steht es mit dem pazifischen Ozean. Der scheint auf den ersten Blick anderes Verhalten zu zeigen. Unserer Meinung nach ist dies nicht ganz der Fall. Zum mindesten scheidet sich im Nordpazifik eine eigentümliche bogige Zone, die zwischen den Alëuten und den tiefen Grabenreihen (Marianen-, Marshall-Inseln) liegt, ein Geosynklinalgebiet bildend, das den Bogen der Alëuten scheinbar nachahmt und unserer Meinung nach als die verschobene (mesozoische) Geosynklinale des nordpazifischen Bogens gedeutet werden könnte. Auffallend ist, wie sich eine Tiefenzone über die Philippinenmulde, über den Sunda-Archipel in die westaustralische Mulde hinzieht, wie wenn hier eine Geosynklinale in dieser Richtung eingeleitet werden sollte. Die Richtung dieser Geosynklinale wäre besonders interessant. Sie

Digitized by Google

folgte der alten Störungszone, dem polaren Orogen, der Grenze von Land- und Wasserhalbkugel.

Die Tiefenverhältnisse der mesozoischen Geosynklinalen.

Ähnliche Verhältnisse, wie wir sie in den heutigen Ozeanen finden, zeigen sich in den Ablagerungen der mesoiden Geosynklinalen. Wir finden mächtige Ablagerungen neritischer, bathyaler und abyssaler Sedimente. Im Kapitel „das Material" konnten solche geosynklinale Sedimentreihen aufgezählt werden. Überaus typische Faziesreihen haben wir aus den Alpen kennen gelernt. Ganze Formationen hindurch lassen sich konstante neritische, bathyale (abyssale) Züge festhalten. Wie verschieden sind die helvetische Fazies, die bathyale Fazies der Kalkhochalpen, der Ostalpen, oder etwa die Schieferhornsteinfazies der Dinariden, faunistisch sowohl als stratigraphisch und petrographisch. Ablagerungen feinen Schlammes, mit Kalken wechselnd, im anderen Falle reine bathyale Kalkmassen, im dritten Falle abyssisches Material mit Radiolariten. Die Gliederung in Flach-, Hoch- und Tiefsee, die wir heute in den Ozeanen sehen, war auch in den Geosynklinalen des Mesozoikum vorhanden.

Die Faziesverhältnisse der Geosynklinalen des Mesozoikum. Die äquatoriale Fazies des Mediterranik.

Wenn wir die Gesteine und die Faunen der mesozoischen Geosynklinalen überprüfen, so zeigt es sich, daß sich besonders im Mediterranik, besonders in der Trias reiche Kalkablagerungen einstellen. Die Mächtigkeit kann 2000 m erreichen. Es sind z. T. ungeschichtete bis 1000 m mächtige Korallriffe, wie etwa der Schlerndolomit, z. T. sind es mehr Bildungen nach Art von Globigerinenschlamm. Die Faunen, die sich z. B. in den Hallstätter Kalken finden, in den Alpen, oder auf Timor sind meist hochozeanische Formen. Der Mediterranik zeigt zweifellos faziell und faunistisch ein anderes Verhalten als die borealen Geosynklinalgebiete, ganz abgesehen natürlich von allen epikontinentalen Bildungen. Für den Jura sehen wir wieder weitgehende Ähnlichkeit einer Zone, die man mit Haug und mit Uhlig als die äquatoriale zusammenfassen kann und die der borealen im allgemeinen gegenübergestellt werden kann. In der Kreide scheiden wir seit Roemer eine südliche Fazies mit Korallen, Rudisten von einer nördlichen, und im Tertiär sehen wir noch in Mitteleuropa tropisches und subtropisches Klima.

Verfolgen wir etwa die kontinentalen Ablagerungen, so sehen wir z. B. in der germanischen Trias, im „Buntsandstein" nach Walther eine fossile Wüste vor uns, also arides Klima. Im Muschelkalk folgt ein

Digitized by Google

relativ „kühleres Meer“, im Keuper wieder heißes, feuchtes Klima. In der Angara-Serie in Turkestan finden sich im Rhät aride Sandsteine mit allen Charakteren einer Wüstenfazies, also auf dem Nordkontinent des Mediterranik. Auf der Südseite finden wir im Nubischen Sandstein zweifellos alte Wüstenelemente, die dem Mesozoikum angehören und die im Hedschas gegen Nummulitenkalke auskeilen (L. Kober).

Neumayr hat schon für den Jura Klimazonen angenommen. Seither sind viele Einwendungen dagegen erhoben worden. Aber es scheint doch, daß die in der Kreide sichtbaren Klimadifferenzen auch im tieferen Mesozoikum existieren, durch die Fauna vielleicht nicht so sehr zum Ausdruck gebracht werden, als speziell durch die kalkreichen Ablagerungen der alpinen Geosynklinale, vielleicht auch durch die ariden Gesteine. Die Gesteine der anliegenden kontinentalen Massen zeigen, daß der Mediterranik gegenüber den nördlichen Geosynklinalen, gegenüber dem Arktik (oder dem Antarktik), in Summe vielleicht doch die äquatoriale Zone des Mesozoikum und des Tertiär repräsentiert.

Die Zyklen seit dem Mesozoikum.

Wir sehen, daß seit dem Mesozoikum im großen und ganzen ein orogener Zyklus abgelaufen ist, und daß die Erde sich zurzeit bereits in einem neuen Zyklus befindet. Dieser hat mit dem Einbruche der Orogene eingesetzt und befindet sich demnach im allgemeinen im geosynklinalen Stadium. Dieses äußert sich im Niederbruche der orogenen Ringe und der damit verbundenen kontinentalen Ränder. Also erscheint als das primäre mehr der Niederbruch der orogenen Zonen, als das sekundäre das Einsinken der kontinentalen Ränder. Es ist auch denkbar, daß in Fällen der ganze Vorgang modifiziert wird.

Die mesoiden Orogene in Beziehung zum jungen Vulkanismus.

Fast der ganze mesozoisch-kaenozoische Vulkanismus spielt sich auf den Linien der großen Störungszonen ab. Hier liegen die großen Intrusionen, die großen Ergüsse, die erloschenen und tätigen Vulkane. Stellenweise häufen sie sich an, so besonders in der Umrahmung des Pazifik, also im polaren Orogen. Hier stehen die meisten Vulkankegel. Ein fast ununterbrochener Kranz führt vom Sunda-Archipel über Japan und die Alëuten zu den großen Vulkanen Alaskas. Eine lange Reihe von Feuerbergen, z. T. erloschen, sitzen den langen Ketten der Westseite Amerikas auf.

Die großen Intrusionen der Granodiorite, die bereits im Mesozoikum mit der ersten Gebirgsbildung einsetzen, verfolgen wir durch ganz Amerika, dann durch Grahamland. Wir treffen sie wieder im

Digitized by Google

Westen, z. B. auf Neuguinea. Seit diesen Riesenintrusionen in das Narben- und Zwischengebirgsgebiet erfolgt ein fast ununterbrochener Vulkanismus in den großen Störungszonen. Charaktergesteine treten auf. Immer wieder finden sich die „grünen Gesteine" (Serpentin, Gabbro) in Vergesellschaftung von Abyssit, von Flysch, von metamorphen jungen Serien. Das sind meist ältere vulkanische Phänomene, die die erste große Gebirgsbildung der Oberkreide noch mitmachen. Darum sind sie metamorph. Der zweiten großen Orogenbewegung im Spättertiär folgt ein heftiger Vulkanismus, Basalte und Andesite, Liparite finden sich als Ergüsse. Als Tiefengesteine Tonalite, Granite. Alle diese Gesteine sind typisch pazifisch, aber nicht mehr metamorph. Aber sie gehören noch in den echten orogenen Zyklus.

Jung und sehr jung sind meist die Nachläufer vulkanischer Natur, die bereits aber atlantische Fazies aufzeigen, z. B. der Vesuv, (oder intermediär sind). Diese Sippe zeigt sich immer, wenn die großen radialen Bewegungen wieder die Oberhand gewinnen, das Orogen zerstückelt wird, die Geosynklinalphase wieder einsetzt.

Die paläozoischen Geosynklinalen.

Wir haben schon Gelegenheit gehabt, in früheren Kapiteln die paläozoischen Anteile der Erde, soweit sie in deren Baue erkenntlich waren, kennen zu lernen und werden nun versuchen, diese einzelnen Abschnitte paläozoischer Geosynklinalen zu ihren natürlichen Einheiten zusammenzufassen. Die kennbaren paläozoischen Geosynklinalgebiete der Erde sind:

1. Die Geosynklinale des Ural. Sie wird durch das paläozoische Faltensystem des Ural repräsentiert. Ihre Fortsetzung nach Norden geht über Nowaja Semlia.
2. Die atlantische Geosynklinale. Hieher rechnen wir das paläozoische System der Appalachen, dann die armorikanischen Bögen, dann die Kaledoniden auf Skandinavien mit ihrer Fortsetzung in die Arktis.
3. Die mediterrane Geosynklinale, d. i. die Geosynklinale der Tethys. Diese existiert ebenfalls im Paläozoikum und zeigt sich in den reichen paläozoischen Ablagerungen innerhalb der Mesoiden. Dort, wo sich die atlantische und mediterrane Geosynklinale verbinden, entstehen die komplizierter gebauten paläozoischen Systeme des westlichen Europa.
4. Die australische Geosynklinale. Sie erzeugt die paläozoischen Faltengebirge Ostaustraliens.
5. Die mongolische (altaische) Geosynklinale. Sie wird hier neu aufgestellt. Aus ihr gehen die paläozoischen Kettensysteme Zentralasiens (Tianschan usw.) hervor.

Digitized by Google

6. Die **japanische Geosynklinale**, die Ostküste Asiens umfassend.
7. Die **nordamerikanische Geosynklinale**, den Westen Nordamerikas einnehmend.

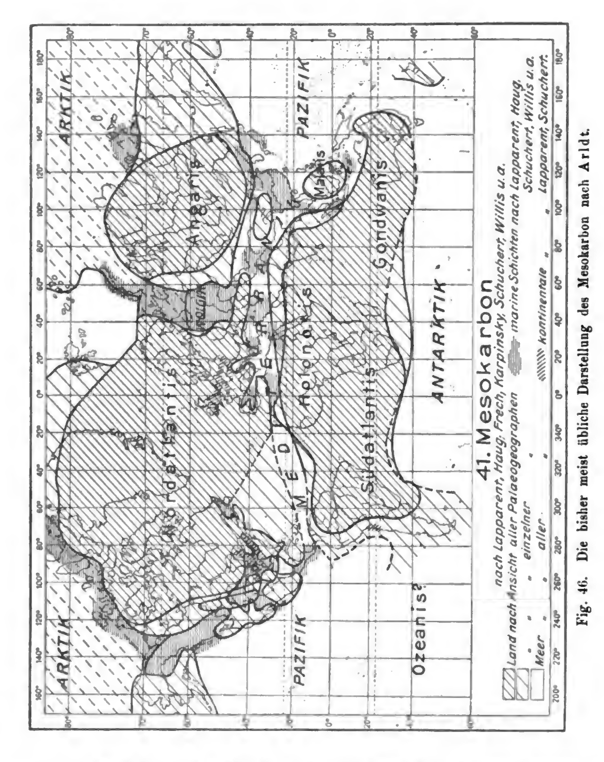


Fig. 46. Die bisher meist übliche Darstellung des Mesokarbon nach Arldt.

8. Die **andine Geosynklinale.** Aus ihr gehen die pampinen Sierren (Sierra de la Ventana) hervor.
9. Die **südafrikanische Geosynklinale**, aus ihr geht das Kapgebirge hervor.

Digitized by Google

10. Die Geosynklinale der Sahariden und der zentralafrikanischen Faltengebirge des Paläozoikum, endlich die Geosynklinale des brasilianischen Küstengebirges. Diese Geosynklinalen sind nicht sichergestellt, aber es ist in hohem Grade z. B. wahrscheinlich, daß ein geosynklinales Feld in den Sahariden und in Zentralafrika (Kongobecken usw.) vorhanden, aber vielleicht höheren Alters war.

Die paläozoischen erstarrten Massen.

Wir können aus dem Bau der Erde folgende feststellen:

1. Den kanadischen Schild.
2. Die russische Tafel.
3. Die sibirische Tafel.
4. Die sinische Masse.
5. Die indische Masse.
6. Die westaustralische Tafel.
7. Die arabische und äthiopische Masse.
8. Kalahari-Masse.
9. Die antarktische Masse?
10. Die brasilianische Masse.
11. Die westafrikanische Masse (westlich der Sahariden).

Diese alten Tafeln sind die Kerne paläozoischer Kontinentalmassen.

Die paläozoischen geotektonischen Einheiten.

Wir wollen ferner, wie das für das Mesozoikum geschehen ist, auch für das Paläozoikum die geotektonischen Einheiten im Ban der Erde aufsnchen, also die kratogenen Felder und die orogenen Ringe, nachdem wir einzelne Teile davon kennen gelernt haben.

1. Die russische Einheit. Das kratogene Feld bildet die russische Tafel. Den orogenen Ring bilden die uralische Geosynklinale, die mediterrane und die atlantische.
2. Die sibirische Einheit. Den Kern bildet die sibirische Tafel, die Umrahmung die mongolische Geosynklinale im Süden, die uralische im Westen, die Nord- und Ostumrahmung liegt in der Arktis. Hier müßte eine paläozoische Geosynklinale supponiert werden.
3. Die sinische Einheit. Mit dem Kern in der sinischen Masse und der Umrahmung des mongolischen, des mediterranen und des japanischen Orogen.
4. Die indische Einheit mit der Nordumrahmung der mediterranen Geosynklinale. Die weitere Umrahmung ist hypothetisch. Möglicherweise hängt diese Einheit, wie im Mesozoikum, mit der australischen zusammen.


Digitized by Google

5. Die australische Einheit, umrandet im Osten von der australischen Geosynklinale. West- und Südumrahmung unbekannt. Wahrscheinlich mit Indien eine Einheit bildend.
6. Die arabisch-äthiopische Einheit, begrenzt im Norden von dem mediterranen Orogen, im Süden vom zentralafrikanischen, im Westen von den Sahariden. Die Ostumrahmung ist unbekannt.
7. Die kalaharische Einheit, mit der Kalahari Masse und den Paläiden des Kapgebirges im Süden, und den zentralafrikanischen Gebirgen im Norden (?). Ost- und Westumrahmung unbekannt.
8. Die brasilianische Einheit, mit der andinen Umrahmung im Westen, der fraglichen Umrahmung im Südosten (Küstengebirge). Ist diese in der Tat vorhanden, dann ist der orogene Ring fast ganz vorhanden. Nur der Nordosten ist offen.
9. Die kanadische Einheit, umrahmt im Osten von den Appalachen, im Westen von den Rocky Mts., im Norden von einer offenbar vorhanden gewesenen Kette auf Grönland.
10. Die antarktische Einheit, Umrahmung gänzlich unbekannt.

Die Größe dieser Einheiten.

Was hier am meisten auffällt ist die Kleinheit der erstarrten Massen gegenüber denen des Mesozoikum. Nur eine fällt aus diesem Rahmen heraus. Es ist der kanadische Schild. Dieser ist so groß gegenüber allen anderen Einheiten des Paläozoikum, daß man vermuten möchte, daß er gar keine Einheit wäre.

Die paläozoischen Einheiten sind viel kleiner als die mesozoischen. Demnach sind auch die Kontinentalmassen, soweit sie sich in den Einheiten erkennen lassen, viel kleiner, und damit erhalten wir für das Paläozoikum schon ein ganz anderes Bild vom Baue der Erde, als im Mesozoikum. Dies scheint bisher nicht in dieser Weise erfaßt worden zu sein und soll hier ganz besonders hervorgehoben werden. Diese Verhältnisse werfen vor allem neues Licht auf die ganzen paläogeographischen Verhältnisse der paläozoischen Zeit.

Das Zusammenfallen paläozoischer und mesozoischer Geosynklinalgebiete.

Wenn man also die Geosynklinalen des Paläozoikum, soweit sie bekannt sind, mit denen des Mesozoikum vergleicht, so sieht man, daß gerade die wichtigsten beiden Formationen gemeinsam sind, und zwar die pazifische und die mediterrane. Wir haben ferner gesehen, daß eine nordatlantische Geosynklinale vorhanden ist, ferner im Süden Afrikas und Amerikas eine antarktische (von den Anden nach Kapland). Wir haben weiter erörtert, daß es notwendig sein wird, eine antarktische Geosynklinale rings um die Antarktis anzunehmen, ferner

Digitized by Google

eine solche im indischen und im südatlantischen Ozean. Wir finden alle Hauptorogengebiete des Mesozoikum im Paläozoikum wieder. Dazu kommen aber noch andere, die erstarrt sind: so die uralische, die mongolische, die der Sahariden usw. In anderen Fällen, wie in Australien, in den Kaledoniden, z. T. auch im Kapgebirge sehen wir das mesozoische Orogen vom paläozoischen etwas verschoben. In der Tethys dagegen, z. B. in Vorderasien, decken sich die Achsen der Paläiden und der der Mesoiden vollständig.

Land und Meer im Paläozoikum.

Wir haben nun die Einheiten, soweit es eben möglich ist, für das Paläozoikum zu erfassen versucht und sind dabei zur Vorstellung gekommen, daß die Verteilung der Einheiten, der hauptorogenetischen Zonen der Erde, im Paläozoikum allem Anscheine nach eine ähnliche gewesen sein dürfte wie im Mesozoikum. Wir werden nun ein richtigeres Bild von den Verhältnissen erhalten, wenn wir die Kontraktion der orogenetischen Zonen, und zwar der Mesoiden und der Paläiden uns ausgeglättet denken. Dann erhalten wir ein Bild der Größe der Erde im Paläozoikum und der Verteilung von Land und Meer.

Die Ozeane.

Wir haben für das Paläozoikum jedenfalls mit einem Mediterranik zu rechnen, der der Vorläufer des mesozoischen ist. Die Achse dieses „Paläo-Mediterranik“ ist so ziemlich dieselbe, wie die des „Meso-Mediterranik“. Nur im äußersten Osten verschiebt sie sich gegenüber der des „Meso-Mediterranik“, in dem das Nanschan-Tsinlinschan-System z. B. einbezogen ist. Das ist im Meso-Mediterranik nicht der Fall. Ähnlich ist es auch im Westen, wo Mitteldeutschland z. B. nicht mehr mediterranes Geosynklinalgebiet, das es im Paläozoikum war, sondern eine mehr epikontinentale See ist.

Der „Paläomediterranik“ schließt sich im Westen mit dem Atlantik des Paläozoikum, den wir hier kurz als „Paläo-Atlantik“ bezeichnen und dem „Meso-Atlantik“ gegenüberstellen. Der Paläo-Atlantik stellt sich ebenfalls ungefähr an Stelle des Meso-Atlantik, an Stelle des heutigen ein.

Ähnlich ist es mit dem Paläo-Indik und dem Paläo-Antarktik. Auch ein Paläo-Pazifik ist zweifellos vorhanden, in einen Nordpazifik und einen Südpazifik gegliedert, ähnlich wie im Mesozoikum.

Dazu kommen noch die Geosynklinalgebiete des Ural, der Uralik, und des Altai (Altaik), dann das der Sahariden, der zentralafrikanischen Ketten. Ein Hauptmeer bildet jedenfalls noch der Paläo-Arktik des hohen Norden.


Digitized by Google

Die Landmassen.

Kontinentale Massen haben wir jedenfalls im kanadischen Schild, in Grönland, in der russischen Tafel, in der sibirischen Tafel, in der sinischen Masse, in Indien, in Australien, in der Antarktis, in Afrika, in Südamerika (Brasilien) vor uns und jedenfalls noch im Gebiete des Pazifik anzunehmen.

Die Gebirgszüge des Paläozoikum.

Kettengebirge des Paläozoikum haben wir zweifellos in den Kaledoniden, in den armorikanischen Bögen, in den variszischen Gebirgen, in den Uraliden, in den zentralasiatischen Schollengebirgen (Altaiden), im Nanschansystem, in den Appalachen, in der spanischen Meseta, in den Shariden, im Kapgebirge, in den pampinen Sierren, in der Ostkordillere von Australien vor uns. Dazu kommen noch die von den Mesoiden überwältigten paläozoischen Ketten in der Umrahmung des Pazifik, im Gebiete des Mediterranik, dann die hypothetischen Ketten in Brasilien und Zentralafrika.

Vereisung und Vergletscherung.

Mit dieser großen Orogenbildung der Paläiden geht eine weitgehende Vergletscherung der Gebirge. Und zwar müßte die Vergletscherung der Hauptsache nach gegen Ende des Paläozoikum, gegen das Ende der Gebirgsbildung fallen. Das scheint auch zuzutreffen. Glaziale Ablagerungen des Paläozoikum finden sich besonders auf der Südhalbkugel, in Ost- und Westaustralien, in Süd- und Zentralafrika, in Indien, in Südamerika. Die Vergletscherungen müssen, wenn sie mit der Gebirgsbildung zusammenfallen, mit den Gebirgen gehen und so gleichsam Leitlinien für paläozoische Gebirgsbildung geben. Aus der Lage der Vergletscherungsgebiete wird man auf die Lage der Gebirge schließen können.

Die Entwicklung der Erde im Archäikum und Proterozoikum.

Wir kennen Proteroiden in Kanada, in Finnland und sehen sie dort als orogene Zonen innerhalb echter Archäiden liegen. Mächtige proterozoische Ablagerungen finden sich dabei. Überschiebungsbauten sind bekannt. Große Diskordanzen trennen die einzelnen orogenetischen Phasen. Glazialbildungen sind aus den Proteroiden Kanadas bekannt. Die tieferen Teile zeigen ungemein weitgehende Metamorphose, die höchsten Partien dagegen fast normale Gesteine. Wir werden wohl auch für diese Zeit nach den bekannten Erscheinungen mit ähnlichen Vorgängen zu rechnen haben, wie im Paläozoikum und Mesozoikum.

Digitized by Google

Die Kontraktion der Erde.

Sie ergibt sich aus den großen Störungszonen mit voller Sicherheit. Überall auf der Erde sehen wir Zusammenstau, nirgends ein wahres Bersten, ein Öffnen der Rinde. Es ist eine Verkennung der tatsächlichen Verhältnisse des Baues der Erde, ihrer ganzen geologischen Entwicklung, wenn man die Kontraktion der Erde leugnet, die Kontraktionslehre als eine abgetane Sache hinstellt. Der Zusammenstau der Schichten im Orogen ist ein ganz gewaltiger. Die Ziffern, die sich aus den großen Störungszonen für die Kontraktion der Erde seit dem Mesozoikum ergeben, sind zweifellos hohe und erscheinen unwahrscheinlich. Wir müssen für jeden größeren Gebirgsbildungszyklus eine Verkürzung des Radius, vielleicht um Hunderte von Kilometern, annehmen. Seit dem Paläozoikum ist der Radius der Erde jedenfalls um Bedeutendes verringert worden. Für das Archäikum werden wir wohl mit einem bedeutend größeren Radius der Erde zu rechnen haben.

Kontraktionsberechnungen sind wiederholt angestellt worden. So hat Heim in neuerer Zeit 576 km Verkürzung des Erdradius ausgerechnet infolge der Gebirgsbildung, die im Meridian der Alpen auf dem Boden der jungen und alten Kettengebirge erfolgt ist. Dieser Ziffer liegen bereits die neuen Vorstellungen über den Bau der Alpen zugrunde: Sie gibt jedenfalls eine Vorstellung von der Größe der Phänomene.

Die Bildung der Kontinente.

Im Paläozoikum sehen wir jede der vorhandenen archäischen Tafeln eine selbständige Kontinentalmasse bilden, die ringsherum von Orogenen umgeben ist. Durch die paläozoische Gebirgsbildung werden z. T. mehrere solcher archäischer Tafeln miteinander verschmolzen. Dies ist besonders bei Eurasien der Fall. Hier verschmelzen eigentlich drei archäische Massen zu einer Einheit. Durch die mesozoisch-tertiäre Gebirgsbildung sind noch weitere zwei dazugekommen. So ist heute Indien und Arabien Asien angefügt worden. Es ist eigentlich ein ganz fremder Bestandteil, außerhalb Eurasien gelegen.

Dies ist das eine Prinzip. Die Kontinentalschollen wachsen aus der Vereinigung der alten archäischen Massen durch die Gebirgsbildung. Das zweite Prinzip ist, daß die heutigen Kontinentalschollen wohl allgemein bedingt werden durch die geotektonischen Einheiten, d. h. die heutigen Kontinentalschollen sind im allgemeinen ident mit den mesoiden kratogenen Feldern.

Die Bildung der Ozeane.

Ozeane entstehen auf den labileren Zonen, auf den orogenen Feldern. Wir haben in der Geschichte der einzelnen Ozeane das genetische

Digitized by Google

Prinzip darzustellen versucht. Dieses ist: Aus der Geosynklinale wird das Orogen. Dieses ist in seinen Kettengebirgen eine Massenanhäufung. Das Orogen vermag diese Last meist nicht zu tragen. So sinkt das Orogen von selbst unter der Überbelastung ein. Es reißt Teile der kontinentalen Felder mit in die Tiefe. So entstehen die neuen Geosynklinalen, die neuen ozeanischen Böden. So liegen die heutigen Ozeane über mesozoischen Geosynklinalen. Nur wenige derselben sind wirklich mit ihren kratogenen Schollen landfest geworden. Der größte Teil ist niedergebrochen. Auch aus dem Paläozoikum sind nur wenig erstarrte Orogene vorhanden. Die meisten haben im Mesozoikum einen neuen geosynklinalen Zyklus begonnen.

Die Konstanz der Ozeane ist zweifellos eine große und es kann für alle Ozeane bis zu einem gewissen Grade angenommen werden, daß die heutigen Ozeane eben wieder Geosynklinalen sind auf dem Boden der älteren, die aber ausgepreßt wurden. Der indische, der atlantische, der arktische Ozean liegen über mesozoischen und paläozoischen Geosynklinalen. Sie sind als Geosynklinalen permanent, nicht direkt als Ozeane. Etwas anders ist es beim pazifischen Ozean. Hier sind wieder die pazifischen Geosynklinalen des Paläozoikum, des Mesozoikum ident, der heutige Pazifik dagegen ist hervorgegangen, indem die niederbrechenden pazifischen Geosynklinalen die eingeschlossenen kontinentalen Massen mit in die Tiefe genommen haben.

Die Genetik der Orogene.

Diese erscheint somit als relativ einfach, als eine Zusammenpressung labiler relativ beweglicher Zonen zwischen starren Massen. Wir sehen in der Erdgeschichte häufig das Bild: Die Paläiden sind entstanden. Aber sie wurden nicht kratogen. Sie versanken. Sie traten im Mesozoikum neuerdings in das geosynklinale Stadium, z. B. in den Alpen. Dort ist die Unterbrechung vom paläiden Orogen der Geosynklinale der Mesoiden sehr gering (Ugowitzer Brekzie des Perm). Im Spät-Mesozoikum und Tertiär stellt sich neuerdings eine orogene Phase ein. Die Mesoiden entstehen. In den Alpen sind sie landfest geworden. In anderen Teilen aber wurden sie neuerdings versenkt. Sie können bereits einen neuen Zyklus begonnen haben und sich bereits wieder im geosynklinalen Stadium befinden. Auch das sind Tatsachen im Baue der Erde. Wie erklären wir sie und machen uns diesen Bau verständlich?

Die Erfahrungen zeigen uns, daß im orogenen Trog auf 1000 km Breite, auf 40—60 km Tiefe (Höhe) Schichten der Erdrinde zusammengefaltet, überfaltet (unterschoben) werden.

Dieser große Faltungshaufe des Orogen ist mit seinen Höhen eine Überlastung bei zugleich lockerem Gefüge. Die Folge ist ein

Digitized by Google

Setzen der ganzen Masse. Das Gebirge sinkt. Das sehen wir so oft an den Zwischengebirgen. Die Randketten steigen deswegen so hoch hinauf, weil sie gleichsam auf die Kontinentalränder hinaufsteigen.

Durch das eigene Gewicht, durch die Überlastung infolge des relativ lockeren Überschiebungsbaues, senken sich die orogenen Ringe. So gehen sie neuerdings ins geosynklinale Stadium. Ein solcher Prozeß erfaßt regionale Räume und dauert durch Epochen. In der Geosynklinale werden große Sedimentmassen aufgestapelt. Auch hier wird das Gewicht eine Rolle spielen. So sehen wir die fortschreitende Vertiefung der mesozoischen Geosynklinalen auf der ganzen Erde. Große kontinentale Räume folgen der Tieferlegung. Das sind die Transgressionen, z. B. im Jura. Der ganze große Senkungsvorgang ist im Grunde genommen möglich durch die fortschreitende stetige Schrumpfung des Erdkörpers. Der Prozeß erfährt aber eine Umkehrung in dem Momente, wo ein Maximum der Versenkung mit der Schichtaufstapelung erreicht wird. Durch die Versenkung kommt die Rinde in größere Rindentiefe, die Folge ist eine Erwärmung, vielleicht Aufschmelzen. Die Erdrinde wird dünner und gebrechlicher. Intrusionen setzen ein. Die Rinde berstet, bricht und beginnt sich zu falten. Diese Erscheinung tritt im Oberjura gerne ein, und zwar dort, wo wir Abyssite finden, mit denen in Gesellschaft Brekzien, dann häufig grüne Gesteine. In dem Momente, wo diese Phänomene einsetzen, beginnt die Gebirgsbildung. Durch die Intrusionen und Effusionen wird das Erdinnere kleiner, die Tendenz zum Senken heftiger, der Druck stärker. Die ganze Erscheinung nimmt größere regionale Dimensionen an, wird ein allgemeiner Prozeß, der zeitlich und stellenweise paroxystisch gesteigert sein kann. Der geosynklinale Boden wird durch die Faltung, Gebirgsbildung in Geosynklinalen und Geantiklinalen geschieden. Diese akzentuieren sich. So wachsen aus den Geantiklinalenketten Inselketten allmählich heraus. Diese überstürzen sich. Es entstehen die Deckenstrukturen. Das Gebirge wandert, fließt, wohin es Platz hat: Nach oben und nach außen. Wahrscheinlich werden auch große Teile aufgeschmolzen oder in die Tiefe gepreßt. Die tieferen Teile im orogenen Felde werden in große Rindentiefe hinabgedrückt. Regionale Metamorphose ganzer Gebirgsteile im Orogen ist ein charakteristischer Bestandteil des Orogen. Auf diesen plastischen Teilen der Tiefe schwimmt das ganze Gebirge, es bewegt sich leichter. Vieles von Bewegungen an der Oberfläche sind wieder Bewegungen der Schwere. Die Ketten werden zuerst im tangentialen Kraftfelde zu hoch emporgetrieben. Die Gesteine müssen sich überstürzen, oder abrutschen. So entsteht das Orogen völlig passiv durch das Zusammendrücken der kratogenen Schollen.

Digitized by Google

Der Bau der Stämme.

Sie sind einseitig gebaut, immer auf das Vorland bewegt, zeigen immer Deckenbau. Sie können sekundär rückwärts oder transversal gefaltet erscheinen. Dies hängt im allgemeinen mit der Bogenform zusammen. Die Stämme selbst zeigen in ihrem Bau verschiedenes Verhalten. So sind im Stamme der Alpiden die Karpathen von einem anderen Bau als die Alpen. Wieder anders ist der Balkan, der Kaukasus. Und es wird zu den anziehendsten Arbeiten gehören, in vergleichender Tektonik die Bauformen dieser Gebirge zu studieren. Die Stämme selbst sind aus neritischen, bathyalen und abyssalen Sedimentationsfolgen aufgebaut. Die neritischen liegen im allgemeinen am Rande. Die bathyalen stammen aus dem Innern der Geosynklinale. Die Faziesverhältnisse sowie das Bewegungsgesetz der Orogene geben direkt das Mittel in die Hand, die Bewegung in jedem Orogen theoretisch festzulegen. Nicht die Lage einer Schubfläche ist bestimmend. Diese ist etwas ganz Nebensächliches. Bestimmend ist die Lage des Vorlandes zum Orogen.

Gesteine des Orogen.

Mit dem Orogen sind ganz bestimmte Gesteinsfolgen verknüpft. In der Geosynklinalenphase entwickeln sich die neritischen, bathyalen und abyssalen Sedimente. Das sind ganz gesetzmäßig aufgebaute Formationsreihen. Noch mehr beschränken sich bestimmte Gesteinsfolgen auf die orogene Phase. Die Flysch-, Molassesedimente sind gesetzmäßig gebaute Gesteinsfolgen des Orogen. Genau so ist es auch mit den Eruptivgesteinen. In der geosynklinalen Phase steigen „atlantische Eruptiva“ empor. In der orogenen Phase aber finden wir immer nur pazifische Typen. Dies ist das Wesentliche in der Erscheinung und wird hier besonders betont. Die pazifischen Gesteine sind nur orogene Gesteine, ähnlich dem Flysch, d. h. ihre Genetik knüpft sich an die Orogenese. Gibt es keine Orogenese, so können nur atlantische Magmen gefördert werden. Diese erscheinen immer nur auf kratogenen Feldern in der geosynklinalen Phase einer orogenen Zone. Diese Verhältnisse sind offenbar alte. Die pazifischen Gesteine überwiegen deshalb, weil die Orogenese die Quelle des Vulkanismus ist. Orogenese fördert nur pazifische Gesteine. In dem Momente, wo wieder geosynklinale Zyklen einsetzen, stellen sich die atlantischen Gesteine ein. Dies ist in den Alpen sehr schön zu sehen. In der geosynklinalen Phase, in der Trias, im älteren Jura finden sich atlantische Gesteine, in der orogenetischen Phase, also vom Oberjura an, pazifische Gesteine.

Diese werden in neuerer Zeit, mit der Vollendung der Orogenese, von atlantischen Gesteinen abgelöst. Beide Typen finden sich insofern gleichzeitig, als zum Beispiel in Außenzonen der Gebirge, die noch

Digitized by Google

nicht in die Deckenbildung einbezogen sind, atlantische Gesteine aufsteigen, während im Innern des Gebirges, in der Zone der Orogenese, pazifische Gesteine zutage kommen. Erst wenn diese Außenzone in die Orogenese einbezogen wird, wird sich auch hier die pazifische Sippe einstellen. Vor den Rocky Mts. schieben sich pazifische Gesteine mit den jungen Bewegungen in das Vorland vor.

Metamorphe Serien sind typische Glieder des Orogen. In den Alpen sind es die penninischen Gesteine, die Fazies der Schistes lustrés, der Bündnerschiefer, einer metamorphen mesozoischen Serie. Ähnliche mesozoisch-metamorphe Gesteinsreihen finden sich in anderen Teilen junger Kettengebirge. Auch im Paläozoikum finden sich solche typische metamorphe Schieferserien. Diese Metamorphose ist eine regionale, eine allgemeine Metamorphose, die mit der tiefen Versenkung der betreffenden Gesteinszonen zusammenhängt und zur weitgehenden Plastizität der Gesteine führt. Mylonitische Gesteine stellen sich in höheren Niveaus ein. So erhalten alle Gesteine des Orogen einen bestimmten tektonischen Habitus, eine tektonische Fazies. Diese ist eine Funktion ganz bestimmter genetischer Vorgänge.

Transgressionen und Regressionen. Mit der Auspressung eines Orogen muß stets ein Überfließen der Wässer über die Kontinentalschollen vor sich gehen. In der Tat sehen wir auch die größten Transgressionen mit großen orogenetischen Vorgängen Hand in Hand gehen. Die große Transgression der Oberkreide ist der klarste Beweis. Mit dem Beginn eines neuen geosynklinalen Zyklus, mit der Bildung neuer Geosynklinalen, können die über die kontinentalen Massen ergossenen ozeanischen Wässer wieder zurückgleiten. Mit der Bildung der neuen geosynklinalen Phase steht immer eine Regression in Verbindung. So ist es in der Trias, so ist es auch im Miozän. Erst wenn die neuen Geosynklinalen ihren Bereich durch Vertiefung erweitern, folgen weitere Transgressionen.

Die großen Transgressionen der orogenetischen Phase, die großen Regressionen beim Beginne neuer geosynklinaler Phasen bedeuten das Hinüberleiten der ozeanischen Wässer aus der alten Geosynklinale in die neue, die Überführung der Wässer des alten Ozeans in das Gebiet des werdenden neuen. E. Haug und L. Waagen haben dies ungemein klar ausgesprochen.

Ist die Hydrosphäre als relativ konstant anzunehmen, so sind die großen Transgressionen und Regressionen nicht eustatische Bewegungen im Sinne von Suess, sondern Bewegungen der Hydrosphäre, hervorgerufen durch tektonische Vorgänge. Die relative Konstanz der Hydrosphäre müßte bei steter Verkleinerung der Erdoberfläche zu einer Vertiefung der Meere führen.

Digitized by Google

Geosynklinalen sind Teile von Ozeanen, die zu Orogenen werden. Geosynklinalen sind durch die große Anhäufung der Sedimente gekennzeichnet. Geosynklinalen sind breite offene Meeresgebiete. Die Auspressung der Geosynklinalen gibt erst eine Vorstellung der Größe der Orogenese. Geosynklinalen sind durch das unruhige Relief charakterisiert. Dies gibt auch zurzeit die Möglichkeit, ozeanische Gebiete als Geosynklinalen zu bezeichnen. Geosynklinalen finden sich auf versenkten Orogenen. Der Atlantik kann als Geosynklinale in statu nascendi bezeichnet werden. Der Nordpazifik zwischen den Aleuten und der Tiefenlinie der Gräben (Marianen-, Marshall-Inseln, Hawai-Inseln) macht den Eindruck einer werdenden Geosynklinale.

Kratogene Schollen können zu ozeanischen Böden werden, sie müssen nicht zu Geosynklinalen werden. So sehen wir die russische Tafel zweimal, im Paläozoikum, im Mesozoikum, vom Meere überflutet, tiefere Kalkbildungen stellen sich ein. Aber dennoch ist die russische Tafel als solche wieder landfest geworden.

Auch im Pazifik nehmen wir als Boden eine solche erstarrte Masse an, die erst im Tertiär versenkt worden ist. Diese Zonen zeichnen sich als Tafeln auch in der Tiefe der Ozeane durch einfache Ebenheiten aus.

Orogenetische Theorien.

„Die Ansicht, daß die Gebirge durch partielle Erhebungen der Erdkruste gebildet wurden, ist schon von dem Dänen Nicolaus Steno (Niels Stensen) in seiner Dissertation „De solido intra solidum contento“, 1669, auch später von Robert Hooke in seiner Abhandlung über die Erdbeben (1705) und Lazzaro Moro (1740) vorgetragen worden. Saussure sprach sich in seinen „Voyages dans les Alpes“ mehrfach für die Erhebungstheorie aus, auf welche er namentlich durch die Schichtenstellungen und Strukturverhältnisse der Alpen gedrängt wurde, ohne sich jedoch von gewissen gegenteiligen Vorstellungen ganz loszusagen. Auch Fichtel, in seinen geologischen Bemerkungen über die Karpathen, 1791, Kessler v. Sprengeisen, in seinen Untersuchungen über die Entstehung der jetzigen Oberfläche unserer Erde, und Hutton, in seiner „Theory of the earth“ erklärten die Entstehung der Gebirge und die Aufrichtung der Schichten durch Erhebung. Zu Anfang des jetzigen Jahrhunderts trat Playfair in seiner Erläuterung der Hutton'schen Theorie für dieselbe Ansicht ein, welche bald darauf von Heim im dritten Teile seiner geologischen Beschreibung des Thüringer Waldgebirges auf eine sehr geistreiche Art geltend gemacht wurde. Auch hatten Jobert, Conybeare, Boué und Studer schon die Prinzipien, auf welche Elie de Beaumont bald nachher seine großartigen Kombinationen gründete, für mehrere Gebirge in Anwendung gebracht. Aber erst durch Leopold von Buch's geniale Auffassungen und Dar-

Digitized by Google

stellungen erhielt die Lehre von der Gebirgserhebung einen neuen Schwung; durch sie insbesonders wurde auch Elie de Beaumont's Arbeit hervorgerufen, seit welcher diese Lehre eine immer allgemeinere Aufmerksamkeit und Anerkennung gefunden hat. Um die Erforschung der Details der durch die Erhebung hervorgebrachten Gebirgsformen haben sich seitdem besonders Thurmann 1832, Rozet, Studer, Frapolli u. a., sowie in Nordamerika Rogers und Dana verdient gemacht.

Als Gegner, wenigstens der etwas zu sehr verallgemeinerten Ansichten Elie de Beaumonts sind unter anderen Boué, Conybeare (1830), Keferstein, Prevost, Moß, Lyell und Ph. Braun (1847) aufgetreten.

Endlich gab und gibt es Naturforscher, welche die ganze Theorie der Gebirgserhebung als solche verwerfen; dahin gehören Reuss, v. Goethe, Oken, Kittel u. a.“ (Nach Naumann, 1850.)

Elie de Beaumont hat das große Verdienst, die Prinzipien, auf welchen diese relative Altersbestimmung der Gebirge überhaupt beruht, zuerst methodisch zusammengestellt und auf eine bedeutende Anzahl von Gebirgsketten angewendet zu haben; und wenn auch die damit verknüpften theoretischen Ansichten des berühmten französischen Geologen nur eine beschränkte Gültigkeit haben dürften, so wird doch dieser erste Versuch einer allgemeinen Begründung der chronologischen Reihenfolge der Gebirgserhebungen in den Annalen der Wissenschaft für alle Zeiten als eine höchst bedeutende Arbeit anerkannt werden; als eine Arbeit, welche einen wesentlichen Einfluß auf die Fortbildung der Geologie ausgeübt hat.

Elie de Beaumont suchte nämlich die großen Veränderungen, welche sich in der Natur der verschiedenen auf dem Meeresgrunde abgesetzten Gebirgsformationen zu erkennen geben, mit den Paroxysmen der Gebirgserhebung in einen ursächlichen Zusammenhang zu bringen, welchen er darin zu finden glaubte, daß jede Gebirgserhebung ein allgemeines Kataklysma verursacht habe, infolgedessen nicht nur die Verteilung von Wasser und Land verändert wurde, sondern auch die organische Natur in ein neues Stadium der Entwicklung trat. Weil aber so große Wirkungen nur durch sehr allgemeine und heftige Kraftäußerungen der Natur erklärt werden können, so führte er (gestützt auf die sehr richtige Ansicht, daß parallele Spaltensysteme auch sehr häufig gleichzeitig gebildete Spaltensysteme sind) die Voraussetzungen ein, daß alle Gebirgsketten von parallelem Verlaufe zugleich erhoben wurden, und daß die Erhebung derselben plötzlich und mit einem Rucke erfolgt sei; zwei Voraussetzungen, durch welche jeder Erhebungsakt zu einem sehr allgemeinen, zugleich aber auch zu einem sehr gewaltsamen Ereignisse gemacht wurde.

Digitized by Google

Unter der Voraussetzung der Gleichzeitigkeit aller Gebirgsketten von gleichnamigem oder parallelen Streichen betrachtete nun Elie de Beaumont einen jeden Inbegriff gleichzeitiger Ketten als ein vollständiges Erhebungssystem und benannte die verschiedenen Systeme nach denjenigen Gebirgen, in welchen der Charakter derselben besonders deutlich und bestimmt ausgeprägt ist. (Nach Naumann, 1850.)

Elie de Beaumont stellte 1829 15 solcher Systeme auf; später erhöhte er sie auf 85, ohne freilich damit die Verhältnisse in der Natur erklären zu können.

Elie de Beaumonts Anschauungen wurzelten im letzten in der Kontraktion der Erde.

Die plutonische Theorie. Sie ging von Hutton aus und fand besonders in L. v. Buch einen bedeutenden Vertreter. Diese Anschauungen leben auch heute noch weiter und wurzeln in der Vorstellung, daß die plutonischen Massen der Achsen der Gebirge die Ursache seien der Entstehung der Gebirge. Indem diese vulkanischen Massen sich den Weg nach oben bahnten, hoben sie die daneben liegenden Schichten auf, drückten sie beiseite, und so entstanden die Faltungen in den Sedimentgesteinen. In der mannigfaltigsten Weise modifiziert kehren diese vulkanischen Theorien der Gebirgsbildungen immer wieder.

Die Theorie der Isostasie.

Sie ist von amerikanischen Geologen, besonders von Dutton, ausgebildet worden. Nach dieser Vorstellung schwimmt die Erdrinde auf der Magmazone und befindet sich infolge der Achsendrehung der Erde in einem hydrostatischen Gleichgewichtszustande. Es kann also keine dauernde Störung dieses Systems geben. Die leichteren dünneren Krustenteile der Erde werden der Zentrifugalkraft des rotierenden Erdkörpers nachgeben und in der Höhe ausweichen. Die spezifisch schwereren Massen werden zurückbleiben, gleichsam einsinken. Die Erde wird infolge der Isostasie stets bestrebt sein, eine bestimmte Gleichgewichtsgestalt zu bewahren. So führt die Isostasie zur Bildung der Kontinente und Ozeane und wird zur Kraftquelle besonders der epirogenen Bewegungen.

Der Gleichgewichtszustand der Erde wird aber wirklich nie erreicht. Einerseits werden fortwährend die Kontinente abgetragen, Material weggeführt, also entlastet, zum Unterschiede der Meeresbecken, die durch die zugeführten Sedimentmassen vor allem belastet werden. Die Störungen müssen wieder ausgeglichen werden. So können auf diesem Wege auch die Kettengebirge entstehen.

Zweifellos steckt in diesen Anschauungen ein richtiger Kern. Die isostatischen Bewegungen sind unserer Meinung nach nicht primäre,

Digitized by Google

sondern mehr sekundäre. Das Primäre ist die Schrumpfung der Erde (Kontraktion), das Sekundäre die sich daraus ergebenden Gleichgewichtsstörungen.

Die Theorie der Gleichgewichtsstörungen in der Magmazone (Unterströmungstheorie).

Diese Theorie ist von Ampferer und Andrée. Strömungen in der Magmazone sollen die Ursachen der Bewegungsvorgänge der Erdoberfläche sein. Diese sind nur Abbilder der Vorgänge der Tiefe. Die Erdrinde ist eine dünne Erdhaut. Die Kontraktion der Erde wird geleugnet. Die Gebirge sollen mehr durch Einsaugen in die Tiefe entstehen. Hebungen und Senkungen der Magmazone, Volumschwankungen sollen die geotektonischen Erscheinungen der Erdoberfläche erzeugen.

Wir wissen gar nichts über die inneren Vorgänge der Tiefe. Was den Bau der Erdoberfläche selbst anbelangt, so kann er durch diese Theorie nicht erklärt werden. Der ganze Vorstellungskreis hat insofern einen Untergrund, als es wahrscheinlich ist, daß Gleichgewichtsstörungen der Oberfläche ein Analogon zu solchen der Tiefe bilden.

Auch Tammann sieht in chemisch-physikalischen Veränderungen in der Magmazone der Erde, insbesondere infolge der Volumvermehrung bei der Kristallisation, eine Hauptursache für die als endogen bezeichneten geologischen Erscheinungen.

Hier schließen sich auch bis zu einem gewissen Grade die Anschauungen an, die Lachmann ausgesprochen hat. Lachmann glaubt in den Wachstumsvorgängen der Kristalle, in den damit im Zusammenhange stehenden Erwärmungen, Umformungen, in der „Kristallokinese“ die Ursache der Gebirgsbildung zu sehen. (Lachmanns kristallokinetische Diffusivströmung.)

Die Expansions- oder thermische Theorie.

Dieser Vorstellungskreis scheint von Amerika ausgegangen zu sein. Ihr Hauptvertreter ist M. Reade. Nach dieser Theorie bildet den Hauptgrund der Faltung die Temperaturerhöhung in der Tiefe und die damit im Zusammenhange stehende Volumsvermehrung. Die Kontraktion der Erde spielt dabei eine nebensächliche Rolle. Zweifellos steckt in diesen Anschauungen ein richtiger Kern. Zweifellos erfolgt bei der Tiefenversenkung der Geosynklinalen Temperaturerhöhung, allgemeine Erwärmung und Volumvermehrung bis zu einem gewissen Grade. Dies alles vollzieht sich in den Tiefen der regionalen Metamorphose. Aber die ganze weitgehende Umformung ist die Folge, ist etwas Sekundäres, hervorgerufen durch eine allgemeine Auspressung der Geosynklinale.

Die Gleitungstheorie.

Reyer glaubte, die Gebirge durch allgemeines Abgleiten der Massen von der Achse des Gebirges erklären zu können. Dies trifft z. T. auch

Digitized by Google

zu. So hat Schardt die Decken der Préalpes als solche Abgleitungsdecken erklärt. Aber wieder handelt es sich um etwas Sekundäres. Diese Decken konnten abgleiten, erst nachdem sie so hoch emporgefaltet worden waren, so daß sie infolge der Schwere abgleiten mußten. In diesem Sinne ist die Gleitungstheorie von Reyer richtig.

Die Theorie der großen horizontalen Kontinentalverschiebungen.

W. H. Pickering hatte schon die Vorstellung ausgesprochen, daß Amerika sich von Eurasien losgetrennt habe. Taylor hat 1910 ferner die Ansicht geäußert, daß sich Grönland von Nordamerika abgespalten habe. A. Wegener hat 1912 diese Vorstellungen noch erweitert und betrachtet die Kontinentalmassen als leichtere salische Blöcke, die im Simameere schwimmen. Nach Wegener ist also die Erdrinde nicht einheitlich. Die beiden Amerika einerseits, und Afrika und Eurasien anderseits sollen eine einheitliche kontinentale Masse noch im Mesozoikum gebildet und sich erst in junger Zeit getrennt haben, derart, daß die beiden Kontinentalmassen voneinander abgetrieben sind. Wegener stützt sich dabei auf die Homologien im Bau der Ufer des atlantischen Kontinentes und auf Längenveränderungen. So sollen sich auch die geographischen Längenunterschiede zwischen Cambridge (Massachusetts) und Greenwich ergeben haben, daß die Entfernung zwischen Nordamerika und Europa jährlich um etwa 4 m zunimmt. Noch schneller soll der Abstand Grönlands von Europa wachsen. Er soll in 84 Jahren um 950 m zugenommen haben.

Die Anschauungen von Wegener lassen sich nicht mit dem geologisch-tektonischen Bilde des Baues der Erde vereinigen. Diese Theorie ist von einer Reihe von Forschern abgelehnt worden. Die Längenveränderungen beweisen gar nichts, zudem sind sie ungenau. Im Bau der Erde hat die Theorie der großen Kontinentalverschiebungen keine Stütze. Sie ist eine Theorie, die aus rein geographischen Momenten entsprungen ist.

Die Großfaltentheorie.

Nach Abendanon ist die Grundursache die Abkühlung des Erdkernes, und die Einschrumpfung ist die Folge. Der Großfaltenmechanismus der Erdrinde äußert sich in der Verbiegung der Erdrinde im großen. Falten von weiten Amplituden entstehen, und zwar Antiklinalen und Synklinalen. Diese Großfalten haben im Gefolge Distraktionen, also Scheitelbrüche, dann vor allem innere Veränderungen. Von den großen Falten können Teile abgleiten. So entstehen Randfalten, Überfaltungen und Überfaltungsdecken im obersten Teile der Erdrinde. Damit stehen dann wieder im Zusammenhange epirogenetische Bewegungen der Erdrinde und geringe Polschwankungen.

Digitized by Google

Trabert glaubte in den Wärmeverschiedenheiten der tieferen Erdschichten das gebirgsbildende Prinzip erfaßt zu haben. Auf dem Boden der tiefen Ozeane herrscht niedrige Temperatur. In derselben Tiefe muß aber unter den Kontinentalsockeln weit höhere Temperatur vorhanden sein. Diese Differenzen müssen ausgeglichen werden. Die Ausgleichsbewegungen führen zu den Bewegungen der Erdrinde.

Scheerer hat in einer Abhandluug zu zeigen versucht, daß die vertikale Parallelstruktur und Schichtung der kristallinischen Silikatgesteine wohl durch elektromagnetische Strömungen hervorgebracht worden sein mögen. Eine ähnliche Ansicht ist schon früher von De la Beche aufgestellt worden, welcher glaubt, daß nicht nur die Strukturflächen, sondern auch die parallelen Absonderungsflächen durch die Tätigkeit polarer Kräfte entstanden seien, wofür auch der Umstand spreche, daß die meisten Systeme von Absonderungsflächen in Cornwall und Devonshire sehr nahe mit der Richtung des magnetischen Meridianes zusammenfallen. Vielleicht seien die den Erdmagnetismus bedingenden, den Erdball von Ost nach West umkreisenden elektrischen Ströme als eine Ursache jener Strukturverhältnisse zu betrachten (nach Naumann, S. 986). Derartige Vorstellungen sind auch in neuerer Zeit geäußert worden. So hat E. Suess auch die Assymmetrie der nördlichen Halbkugel mit dem magnetischen Pol in Verbindung gebracht.

Allgemein kosmische Vorgänge sind als geogenetische Ursachen herangezogen worden, so die Rotation der Erde, die mit der Kontraktion der Erde verbundene Rotationsbeschleunigung (Theorie von Böhm). Welchen Einfluß die Zentrifugalkraft auf die Kontinentschollen hat, ist nicht erkannt. Auffallend sind die nach Osten vordringenden Bögen. Die Schwankungen der Achse der Erde, die Veränderungen der Ekliptik, die Präzessionsänderungen sind für allgemeine geologische Phänomene verantwortlich gemacht worden. Hier existieren noch eine Reihe von Hypothesen, die aber doch alle mehr oder weniger außerhalb des Rahmens einer festeren wissenschaftlichen Erfassung liegen.

Bewegungen der Erdrinde über den Erdkern.

Auch diese Möglichkeit muß bei Beurteilung dieser Fragen in Betracht gezogen werden. Die Möglichkeit des Wanderns der Rinde über den Kern ist zuerst wohl von Loeffelholz von Colberg ausgesprochen worden. Dieser Vorstellungskreis kehrt in der neueren Literatur häufig wieder.

Polwanderungen und Verlegungen der Erdachse.

Die Lage der Pole ist keine fixe. Der Pol wandert. Diese Tatsache ist durch genauere Messungen festgestellt worden. Die Lage der Erdachse ist keine stabile. Die Erde wackelt, wie Albert Heim sich ausdrückte.

Digitized by Google

Polverlegungstheorien sind die Theorien von P. Reibisch und Kreichgauer. Die Polverlegungen spielen auch in der Tetraedertheorie eine große Rolle. Arldt z. B. verlegt die Pole für das Mesozoikum in das Beringmeer und in den Südatlantik.

Die Pendulationstheorie.

Dieses zuerst von (Loeffelholz von Colberg) Kreichgauer, von Reibisch, zuletzt von Simroth genauer definierte Entwicklungsprinzip der Erde sagt: Die Erde hat zwei Schwingpole. Der eine liegt in Sumatra, der andere in Ecuador. Die Erde hat zugleich zwei Schwingungskreise. Der eine liegt in den Alpen, der andere antipodisch in Polynesien. In diesen Schwingungskreisen pendelt die Erde rhythmisch seit dem Paläozoikum derart, daß die Schwingungspole stets die Äquatorlage beibehalten, während die Schwingungskreise abwechselnd die äquatoriale, dann wieder die polare Lage haben. So pendelte der Erdkörper aus der äquatorialen Lage langsam in die polare, erreichte im Diluvium seinen höchsten Ausschlag. Seit dieser Zeit pendelt die Erde wieder in die äquatoriale Lage zurück. Im Paläozoikum hat die Erde gleichfalls eine solche Gang-Pendelung auf dem Schwingungskreis der Alpen von der äquatorialen Lage in die polare und zurück vollzogen. An die Hypothese knüpfen sich große biologische Konsequenzen, auf die wir hier nicht näher eingehen können.

Die Tetraedertheorie.

Die Konstanz der Linien, die eigenartige Stabilität der Ereignisse, lassen auf gesetzmäßige Züge der Gestalt der Erde schließen. Wir sehen in der Tat in der antipoden Anordnung von Wasser und Land, in der Dreiecksgestalt der Kontinentalmassen Gesetzmäßigkeiten. Versuche, diese Gesetzmäßigkeiten der wahren Gestalt der Erde zu erfassen, sind eine Reihe gemacht worden. Man hat versucht, die Gestalt der Erde auf geometrische Formen zurückzuführen. Hierher gehören die kristallographischen Theorien von Delamotherie, Jameson, Oken, Hauslab, Pissis, Owen und E. de Beaumont.

Die Versuche, eine tetraedrische Grundform der Gestalt der Erde zugrunde zu legen, die Tetraederhypothese von L. Green, hat insbesonders in Frankreich, England, Amerika, in letzter Zeit auch in Deutschland Boden gefaßt. Owen (1857) war der erste, der tetraedrische Elemente im Aufbaue der Erde vermutete. Er versuchte die tektonischen Einzelheiten der Erde nach drei Scharen von Hauptkreisen zu ordnen, deren gleichliegende Schnittpunkte mit dem Äquator je 120° voneinander abstehen, indem die nordöstlichen Zweige den Äquator etwa auf den Meridianen 67·5°; 187·5°; 307·5° O., die dazu gehörigen nordwestlichen Zweige auf den Meridianen 247·5°; 7·5°; 127·5° O. schneiden. Durch jeden dieser Punkte läßt Owen vier Hauptkreise

Digitized by Google

A—D hindurchgehen, die die Breitengrade 78°; 66·5°; 50° und 23·5° berühren und die sich in der Breite 67°; 49°; 31° bezw. 12·5° N. schneiden. Diese Schnittpunkte entsprechen den Eckpunkten der Grundfläche eines Tetraeders, dessen vierte Ecke im Südpol gelegen ist.

Eine eigentliche tetraedrische Theorie wurde aber erst 1875 von L. Green aufgestellt und eingehend begründet, begegnete aber anfänglich vielem Spott, entfernt sich doch von allen regelmäßigen Körpern gerade das Tetraeder am weitesten von der Kugel. Endlich aber fand sie, und zwar zuerst in Frankreich, günstige Aufnahme, wo Lapparent sie (1900) weiter ausbaute und in mehreren seiner Werke für sie eintrat. Zu ähnlichen Resultaten wie dieser Gelehrte kam bei der Untersuchung der Größe der Erdabplattung Du Ligondes (1899). Michel Lévy (1898) und Marcel Bertrand (1900) suchten das Tetraeder hauptsächlich der Verbreitung der vulkanischen Erscheinungen und dem Zuge der Faltungsgebirge anzupassen. Preston sprach sich auf Grund von Schweremessungen für die tetraedrische Hypothese aus. Endlich gaben J. W. Gregory (1899), Emerson (1900) und Prinz (1901) zusammenfassende Überblicke über die bisherige Entwicklung der Theorie. Während aber die beiden ersteren auf den Standpunkt der Theorie sich stellen und dieselbe weiter auszubauen suchen, verwirft der belgische Astronom die Tetraedergestalt der Erde und nimmt nur andere Teile von Greens Hypothese an.

Die Hypothese von Green (nach Th. Arldt).

Green vergleicht die Erde mit einem Tetraeder und sucht dieses der Kugelform dadurch anzunähern, daß er an die Stelle der Kanten einmal gebrochene Linien einführt und dann auf die Tetraederflächen sechsseitige Pyramiden aufsetzt. Eine noch größere Annäherung läßt sich erzielen, wenn wir die Kanten und Flächen uns gekrümmt vorstellen. Den Körper nennen wir am besten nach seiner Form ein Tetraedroid.

Wenn nun dieses auch nur wenig von der Sphäroidform abweicht, so müssen doch die Mitten der Flächen dem Schwerpunkte näher liegen, als die Ecken und Kanten. Infolgedessen wird auf den Flächen sich das Wasser ansammeln, dessen Oberfläche sphäroidisch sein muß. Die Flächen werden zu Meeren, die Kanten und Ecken bilden Land. Bei einer tetraedrischen Form der Erde müssen Wasser und Land antipodisch verteilt sein. Das ist in der Tat der Fall. Nur wenigen Landgebieten, nach Lapparent nur $1/20$ der ganzen Landfläche, liegt Land gegenüber. Wenn die Erde überhaupt mit einem regelmäßigen Körper verglichen werden kann, so kann dies nur das Tetraeder sein.

Von den sechs Tetraederkanten läßt Green drei N—S verlaufen. Er sieht sie in den Erdteilpaaren Nord- und Südamerika, Europa-Afrika

Digitized by Google

und Asien-Australien. Die beiden letzten Paare sind jetzt allerdings miteinander verwachsen, doch erst seit kurzer Zeit.

Diese drei Erdteilpaare weisen untereinander viele Ähnlichkeiten auf. Alle Erdteile sind im Norden breit entwickelt und stellen hier die borealen Kanten des Tetraedroids dar. Nach Süden sind sie zugespitzt.

Green benutzt die südliche Zuspitzung der Erdteile als ein Hauptargument für seine Ansicht. In der Tat muß auch ein Tetraedroid dieser Form im Norden die Landmassen zeigen, zwischen denen die Ozeane ausspitzen müssen. Ein Blick auf die Karte zeigt tatsächlich diese Erscheinung beim pazifischen, beim indischen Ozean. Auch beim atlantischen Ozean zeigt sich eine Abschnürung gegen die Arktis.

Diese Ozeane bilden die Seitenflächen zu Greens Tetraedroid. Die Grundfläche wird durch das arktische Meer repräsentiert. Diesem Meer liegt in der Antarktis die vierte Tetraederecke gegenüber.

Daß solche Umbildungen von Kugeln in tetraedrische Körper bei Schrumpfung möglich sind, haben Fairburns Experimente mit eisernen Hohlzylindern gezeigt. Eine wirkliche tetraedrische Umbildung hat Lallemand bei Kautschukballons, Green bei Seifenblasen beobachtet. Letzterer zitiert auch außerdem mehrere Fälle, in denen Astronomen vierspitzige Formen an den größeren Planeten beobachtet haben wollen. Die tetraedrische Gestalt der Erde kann nur eine kleine sein, da sie immer wieder durch Kräfte gestört wird. Tetraedrische Züge werden infolge der geringen Rotation am ehesten in höheren Breiten zu erkennen sein.

Nach der Verteilung von Land und Wasser und nach der Forderung der Symmetrie zur Erdachse muß eine der Ecken des Tetraedroids mit dem Südpole zusammenfallen. Die anderen drei liegen, da Green ein reguläres Tetraeder seiner Betrachtung zugrunde legt, auf 19° 28′ 27″ nördl. Breite, um 120° voneinander entfernt. Die Kantenlänge beträgt also rund 109·5°. Als meridionale Kanten wählte Green die Kreise 50°, 150°, 270°. Die drei Eckpunkte fallen dann

1. in die Nähe von Dongola, südöstlich von Hannik, am 3. Katarakt;
2. in den großen Ozean, östlich der Marianen;
3. auf die Halbinsel Yukatan.

Bei dieser Lage der Eckpunkte ist nördlich vom Äquator ein Massenüberschuß vorhanden. Dieser muß eine Wirkung auf die Erdachse ausüben. Dadurch soll die Neigung der Erdachse zur Ebene der Ekliptik bedingt werden.

An den Kanten hat die Erdkruste eine stärkere Biegung erfahren. In ihnen müssen die Schwächezonen liegen. Sie bedingen die Richtung der Falten und Spaltsysteme, sowie die Gebiete starker vulkanischer Tätigkeit. Die borealen Katheten des Tetraedroids verlaufen in der Nähe der mittelmeerischen Störungszone. Die großen Kettengebirgszonen fallen

Digitized by Google

in die Region der Kanten. Auch die Schwereunregelmäßigkeiten der Erde glaubte Green durch seine Theorie erklären zu können.

Änderungsvorschläge.

Lapparent verlegte die tetraedrischen Eckpunkte in die archäischen Massive des kanadischen, des skandinavischen Schildes und in das mandschurische Gneisgebiet, da die rein geometrische Bestimmung der Eckpunkte von Green nicht befriedigen konnte und die Eckpunkte überhaupt nur sehr wenig mit Landmassen zusammenfielen. Neuerdings hat Lapparent an Stelle des mandschurischen Eckpunktes einen Eckpunkt in Mittelsibirien vorgeschlagen.

Zu einem ähnlichen unregelmäßigen Tetraedroid gelangte auch Du Ligondes. M. Lévy nimmt an, daß die Erdrinde nach den Kanten des Tetraeders bricht. Diese und ihre Verlängerungen müssen also die Leitlinien für den Zug der Kettengebirge und für die Verbreitung des Vulkanismus sein. Bei Lévy ist die Lage der Eckpunkte folgende:

1. In der Gegend von Haleb in Nordsyrien (27° N, 28° O);
2. 0°, 155° O, nördlich von Bougainville;
3. 20° N, 266·5° O, inmitten des Golfes von Campeche (Mexiko);
4. 72° S, 2·5° O.

M. Bertrand versuchte die Verteilung der Gebirge und Vulkane dem Tetraeder noch besser anzupassen. Er nimmt als Grundform der Erde eine Doppelpyramide, bestehend aus zwei Tetraedern mit gemeinsamer Grundfläche. Sein Erdkörper hat fünf Eckpunkte.

Auch Th. Arldt nimmt einen symmetrisch-tetraedrischen Gleichgewichtskörper an mit folgenden Eckpunkten:

1. In Südfinnland;
2. nordwestlich vom Hochlande von Patom;
3. in der Hudsonbay.

Die tetraedrische Form der Erde erklärt nach Arldt die antipodische Lage von Land und Wasser, die Zuspitzung der Festland- und Ozeanflächen, die Assymmetrie der nördlichen Landkugel, die Verteilung der alten Massen, die geringe Abplattung des Südpoles, manche Unregelmäßigkeiten der Schweremessungen. Im Vereine mit der Theorie der Polverschiebung gibt sie einen Grund für die Neigung der Erdachse und läßt die Eigentümlichkeit der mittelmeerischen Zone sowie des pazifischen Feuerkreises verstehen.

Digitized by Google

Literaturverzeichnis.

Abendanon, E. C., Die Großfalten der Erdrinde. Mit einer Vorrede von K. Oestreich. Leiden 1914.

Ampferer, O., Bewegungsbild der Faltengebirge. Jahrb. d. geol. Reichsanstalt, Wien 1906, Bd. LVI.

Andrée, K., Über die Bedingungen der Gebirgsbildung. Berlin 1914.

— —, Über Sedimentbildung am Meeresboden. Geol. Rundsch., III, 1912.

— —, Die paläogeographische Bedeutung sedimentpetrographischer Studien. Pet. Mitt., 1913, II, 117—123, 186—190, 245—249.

Aperçu des Explorations géologiques et minières le long du Transibérien in 8°. St. Pétersbourg 1900.

Arbenz, P., Probleme der Sedimentation mit ihren Beziehungen zur Gebirgsbildung in den Alpen. Vierteljahrsschrift Naturforsch. Gesellschaft in Zürich, LXIV, 1919.

Argand, E., Sur l'arc les Alpes occidentales. Eclogae geol. Helv., XIV, p. 145—191, 1916.

Arldt, Th., Handbuch der Palaeogeographie. Berlin 1918.

— —, Die Größe der alten Kontinente. N. J. f. M., 1907, I, S. 36.

— —, Die Entwickelung der Kontinente und ihrer Lebewelt. Leipzig 1907.

Arrhenius, S. A., Lehrbuch der kosmischen Physik. Leipzig 1903.

Bailey, B. G., Recumbent folds in the schists of the scottish higlands. Quart. Journ. Geol. Surv., London 1910, vol. LXVI, p. 586.

Barrel, J., Relative geological importance of continental, littoral and marin sedimentation. Journ. of Geol., vol. XIV, Chicago 1906, 316—356, 430—457, 524—568.

Baschin, O., Das dynamische Gleichgewicht der Erdoberfläche. Z. d. Ges. f. Erdk., 1910, S. 634.

Beaumont, É. de, Recherches sur les quelques-unes de Révolutions de la surface du globe etc. Ann. des Sc. nat., XVIII, 5—25, 284—416; XIX, 5—99, 174—240; 1829—1830.

Becke, F., Atlantische und pazifische Sippe der Eruptivgesteine. Tschermaks Min. u. Petrogr. Mitt., N. F., 22, 1903.

Belot, E., L'origine des formes de la terre et des planètes. 253 S. Paris 1918. Gauthier-Villars & Co.

Benndorf, H., Über die physikalische Beschaffenheit des Erdinneren. Mitt. geol. Ges. Wien, I, 1908.

Bertrand, M., Rapports de Structure des Alpes de Glaris et du Bassin Houiller du Nord. Bull. Soc. Géol. France, sér. 3, vol. XII, 1883—1884, p. 318.

— —, Coupes de la Chaîne de la Sainte-Beaume (Provence). Bull. Soc. Géol. France, sér. 3, vol. XIII, 1884—1885, p. 125.

— —, La chaîne des Alpes et de la formation du continent européen. Bull. Soc. Géol. France, 2. sér., XV, 1887, 442—444.

— —, The Mountains of Scotland (translated by G. A. Lebour). Geol. Mag., 1893, p. 118.

— —, Structure des Alpes françaises et récourrence des certaines faciès sédimentaires. C. R. Congr. géol. int., 1894, Zürich, p. 163—177.

— —, Deformation tétraédrique de la terre et déplacement du pôle. C. R. Ac. Sc., CXIII, 449—464, 1900.

— —, Essai d'une théorie mécanique de la formation des montagnes. Compt. Rend. Ac. Sc. Paris, CXXX, 1900.

Blackwelder, E., New light on the Geology of the wasatch Mountains, Utah. Bull. Geol. Soc. Am., vol. 21, 1916, 517 und Handb. reg. Geol. VIII. Bd. 2. Abt. 1912.

Digitized by Google

Blanckenborn, M., Syrien, Arabien. Handb. regional. Geologie, Bd. V, 4. Heidelberg 1918.

Böhm, A. v., Abplattung und Gebirgsbildung. Wien 1910.

Bonney, T. G., The Building of the Alps. London 1913.

— —, Volcanoes, their structure and significance. London 1912.

Born, G. v. dem, Die physikalischen Grundlagen der tektonischen Theorien. Beiträge zur Geophysik, Bd. 9, 1908.

Branca, W., Müssen Intrusionen notwendig mit Aufpressung verbunden sein? Sitzungsber. d. Ak. Wiss. Berlin, Bd. 38, 1912.

— —, Aufpressung und Explosion oder nur Explosion im vulkanischen Ries bei Nördlingen. Monatsber. d. Deutsch. geol. Ges., Bd. 65, 1913.

Brouver, H. A., Über Gebirgsbildung und Vulkanismus auf den Molukken. G. R., Bd. VIII, Heft 5/8, Leipzig 1917, S. 197.

Burckhardt, Ch., Traces d'un ancient continent pacifique. Rev. Mis. de la Plata, 1900, Bd. X.

Capeder, G., Il problema orogenetico e la teoria dell' isostasi. Boll. Soc. Geol. Ital., Bd. 31, 1912.

Cels, A., Evolution géologique de la terre et Ancienneté de l'Homme. Bruxelles 1909.

Chamberlain, T. C., The ulterior Basis of Time-Division and the Classification of Geology History. Journ. of Geol. Chicago, vol. VI, 1898, S. 449.

— —, Diastrophism and the formative Processes. V, VIII. Journ. of Geol., XXII, 1914, 131—144, 516—528.

— — and Salisbury, R. D., Geology. New York 1906.

Chamberlain, Th., The evolution of the Earth. Sc. Mounthly New York, II, 1916, 417—437, 536—556.

Cornet, J., Tectonique et morphologie du Katanga. Ann. de Musée du Congo, Géologie etc., sér. II, Bd. I, 1908, p. 75.

Daly, R. A., Abyssal igneous as a causal condition and as an effect of mountainbuilding. Am. Journ. of Sc., vol. XXII, 4. ser., New Haven 1906, 195—216.

— —, Igneous Rocks and their origin. New York 1914.

Dana, J., Geolog. Results of the Earths Contraction in Consequence of cooling. Am. Journ. of Sc., 2. ser., III, 176—188.

— —, On some Results of the Earth's Contraction from cooling, including a discussion of the Origin of Mountains etc. Am. Journ. of Sc., 3. ser., 5, 6.

Daqué, E., Die Stratigraphie des marinen Jura an den Rändern des pazifischen Ozeans. Geol. Rundsch., II, 198.

— —, Grundlagen und Methoden der Paläogeographie. 1915.

Darwin, G. H., Ebbe und Flut, sowie verwandte Erscheinungen im Sonnensystem. Deutsche Übersetzung nach der dritten engl. Auflage von A. Pockels. 2. Aufl. Leipzig 1911.

Daubrée, A., Études synthétiques de Géologie expérimentale, t. 1879.

Davis, W. M., Die erklärende Beschreibung der Landformen. Berlin u. Leipzig 1912.

— —, The Theory of isostasy. Bull. Soc. Geol. Am., vol. XXI, 1910/11, 777.

— —, Nomenclature of Surface Forms on Faulted structures. Bull. Soc. Geol. Am., vol. XXIV, p. 187—216, 1913.

— — und Braun, Grundzüge der Physiographie. Leipzig u. Berlin 1911.

Deecke, W., Die alpine Geosynklinale. N. J. f. M., 1912, Beil.-Bd. XXXIII, 831—858.

— —, Ein Grundgesetz der Gebirgsbildung? N. J. f. M., 1908, I, 119—133, II, 32—48, 55—73.

Deprat, J. und Mansuy, A., Étude géologique du Ju-Nan oriental. Mém. du Serv. géol. de l'Indochine, 1912, 1 Fasc.

Diener, C., Die marinen Reiche der Triasperiode. Denkschr. d. k. Ak. d. Wiss., math.-nat. Kl., XCII, 1915, 405—549.



Diener, C., Über die Konstanz einiger Hauptgrenzen des marinen mesozoischen Reiche. Mitt. d. Geol. Ges. Wien, Bd. V, 1912, 13.
— —, Die Großformen der Erdoberfläche. Mitt. d. k. k. geogr. Ges. Wien, 1915, Bd. 58.
Doelter, C., Petrogenesis. Braunschweig 1906.
Douvillé, R., La péninsule ibérique. A.-Espagne. Handb. regional. Geol., III. Bd. 3. Abt. Heidelberg 1911.
Ebert, J., Geosynklinale und Rahmenfaltung, Zerrungsgebirge und Vulkanismus im australasiatischen Archipel. Zeitschrift Ges. f. Erdkunde. Berlin 1913.
Eckardt, W. R., Das Klimaproblem der geol. Vergangenheit und historischen Gegenwart. Braunschweig 1909. Dasselbe im Auszug als: Paläoklimatologie. Leipzig 1910 (Göschen).
— —, Das Klimaproblem der permokarbonen Eiszeit usw. Geol. Rundsch., Bd. IX, 1/2, 1918.
Erdmannsdörfer, O. H., Über Magmaverteilung. Geol. Rundsch., Bd. II, 1911, 1. 8.
Fisher, O., On convection currents in the Earth's interior. Geol. Mag., Dez. 5, vol. 6, 1909.
Frech, F., Gebirgsbau und Erdbeben. Pet. Mitt., 1907, 245.
Friedrichsen, M., Zerrung in der Erdkruste und deren Folgeerscheinungen. Pet. geogr. Mitt., 1913, Heft 1.
Fuchs, Th., Welche Ablagerungen haben wir als Tiefseebildungen zu betrachten? N. J. f. M., Beil.-Bd. II, 487—584, 1883.
Geikie, J., Mountains, their origins, growth and decay. Edinburgh 1913.
Gentil, L., Le Maroc physic. Paris 1912.
Gerth, H., Geologische und morphologische Beobachtungen in den Kordilleren Südperus. Geol. Rundsch., Heft 3, 1915, 129.
Grabau, W., Types of sedimentary overlap. Bull. Soc. Geol. Am., XVII, 567—636, 1906.
— —, Principles of Stratigraphie. New York 1913.
— —, Physical and faunal Evolution of North America during Ordovic, Silur aud early Devonic time. IV. Journ. of Geol., XVII, 1909, 209—252.
Green, L. W., Vestiges of the molten globe. London 1873.
Gregory, J. W., The plan of the earth and its causes. Geogr. Journ., vol. XIII, London 1899, 225—251.
Gressly, A., Observations géologiques sur le Jura Soleurois. Extrait des Nouv. Mém. Soc. Helvét. Sciences natur., tom. II, IV, V. Genf 1838—1841.
Groll, M., Tiefenkarte der Ozeane mit Erläuterungen. Veröffentlichungen d. Instituts f. Meereskunde, N. F., Geogr.-naturwiss. Reihe, Heft 2. Berlin 1912.
Guillemain, C., Zur Geologie von Katanga. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., Bd. 65, Monatsber. S. 304—328, 1913.
Günther, S., Handbuch der Geophysik, 2 Bde. Stuttgart 1897—99.
Hahn, F., Untermeerische Gleitung bei Trenton Falls (Nord-Amerika) und ihr Verhältnis zu ähnlichen Störungsbildern. Neues Jahrb. f. Min. usw., Beil.-Bd. XXXVI, S. 1—41, Taf. I—III, 1912.
Hammer, E., Die isostatische Lagerung der äußeren Erdschichten. Pet. Mitt., 1906, Bd. LII, 190—191.
— —, Referat über einen Vortrag von J. Hayford über Isostasie. Proc. Washington Ac. Sc., 1906, Bd. VIII, 25—40.
Harrassowitz, H. L., Die Klimate und ihre geologische Bedeutung. Bericht oberhess. Gesellschaft f. Nat.- u. Heilkunde, N. F., Nat.-Abt., Bd. 7, 1916—19, S. 212—232. Gießen 1919.
Harker, A., The natural history of Igneous rocks. London 1909.
Haug, E., Les géosynclinaux et les aires continentales. Bull. Soc. Géol. France, 3. sér., XXVIII, 1900, p. 617—711.
— —, Traité de Géologie, I—III. Paris 1907.

Digitized by Google

Hayford, J., The figure of the Earth and Isostasy. U.-S. Coast and Geol. Survey. Washington 1909.

Heim, Albert, Das Gewicht der Berge. Jahrb. d. Schweiz. Alpenklub, 53. Jahrgang, S. 179—201.

Hecker, O., Beobachtungen an Horizontalpendeln über die Deformation des Erdkörpers unter dem Einflusse von Sonne und Mond. Veröffentl. d. kgl. Preuß. Geol. Inst., N. F., 32, I—IV, 1907. Berlin.

Helmert, F. R., Die Erfahrungsgrundlagen der Lehre vom allgemeinen Gleichgewichtszustande der Massen der Erdkruste. Sitzungsber. d. kgl. Preuß. Akad. d. Wiss. Berlin, phys.-math. Kl., 1912, 20.

Hennig, E., Aptychen von den Kap Verdeschen Inseln. Zeitschr. d. geol. Ges., 65. Bd., 1913, S. 151.

— —, Die Glazialerscheinungen in Äquatorial- und Südafrika. Geol. Z., 1195, 1912 bis 1913, XVIII. Geol. Rundsch., Bd. VI, Heft 3, 1915, 154.

— —, Die Stratigraphie des Arbeitsgebietes der Tendaguru-Expedition. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., 1912, M.-B. Nr. 4, S. 214—215.

Herrgesell, Die Abkühlung der Erde und die gebirgsbildenden Kräfte. Gerlands Beiträge zur Geophysik, 2. Bd., 1894.

Hobbs, W. H., Origin of Ocean Basins in the Light of the new Seismology. Bull. Geol. Soc. Am., vol. XVIII, 1907, p. 233, 244—246.

— — und Ruska, J., Erdbeben, Einführung in die Erdbebenkunde. Leipzig 1910.

Högbom, A. G., Geologisk Beskrifning öfver Jemtlands Län. Ver. Geol. Undersökn. afhandl., serv. C, Nr. 140, 1894.

Hoernes, R., Ältere und neuere Ansichten über Verlegungen der Erdachse. Mitt. d. geol. Ges. Wien, Bd. 1, 1908.

Höfer v. Heimhalt, Die Verwerfungen. Braunschweig 1917.

Horn, E., Über die geologische Bedeutung der Tiefseegräben. Geol. Rundsch., Bd. V, Heft 5/6. Berlin 1914.

Iddings, J. P., Igneous Rocks, composition, texture and classification, description and occurence. New York 1909.

Ihering, H. v., Archelenis und Archinotis. Leipzig 1907.

— —, Die Umwandlungen des amerikanischen Kontinentes während der Tertiärzeit. N. J. f. M., Beil.-Bd. XXXII, 1911, 134—176.

Jacobitti, E., Mobilità dell' Asse Terrestre. Studio geologico. Torino 1912.

Karpinsky, A., Sur le caractère général des mouvements de l'écorce terrestre dans la Russie d'Europe. Bull. Ac. Imp. Sci. St. Pétersbourg, 4. sér., I, 1894, 1—19.

Kayser, E., Lehrb. d. Geologie, 2 Bde, 5. Aufl. Stuttgart 1911—12.

Killian, W., Unterkreide, Paleocretacicum in F. Frech, Leth. geogn., II. Mes., III. Kreide, 1. Lief. Stuttgart 1907.

Kober, L., Über Bau und Entstehung der Ostalpen. Mitt. d. geol. Ges. Wien, 1912.

— —, Über die Bewegungsrichtungen der alpinen Deckengebirge des Mittelmeeres. Pet. geogr. Mitt., 1914.

— —, Alpen und Dinariden. Geol. Rundsch., 1914.

— —, Geologische Forschungen in Vorderasien. I. Teil: Taurus und Libanon. Bd. 91. 1915. Denkschr. d. Ak. d. Wiss. Wien.

— —, Das nördliche Hegaz. II. Teil. Denkschr. d. k. Ak. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., und Bd. 96, 1919.

— —, Aufgaben der Geotektonik. Mitt. d. geol. Ges. Wien, 1917.

— —, Der Deckenbau der östlichen Nordalpen. Denkschr. d. k. Ak. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Bd. 88, 1912.

Kohlschütter, E., Über den Bau der Erdkruste in Deutsch-Ostafrika. Vorl. Mitteil. Mitt. d. kgl. Ges. d. Wiss., math.-phys. Kl., Göttingen 1911, 1—40.

Koken, E., Die Vorwelt und ihre Entwicklungsgeschichte. Leipzig 1893.



Kossmat, F., Paläogeographie. Leipzig 1908. (Göschen-Sammlung.)

Kreichgauer, D., Die Äquatorfrage in der Geologie. 1902.

Krümmel, O., Handbuch der Ozeanographie, I u. II, 2. Aufl. Stuttgart 1911.

Lachmann, R., Über den Bau alpiner Gebirge. Zeitschr. d. D. geol. Ges., Bd. 65, 1913, Mon.-Ber., 157—173.

Lallemand, Mouvements et deformations de la croûte terrestre. Ann. du Bur. des Longitudes pour, 1909.

Lapparent, A. de, Conférence sur le sens des mouvements de l'écorce terrestre. Bull. Soc. Géol. France, 3. sér., XV, 215—241, 1887.

— —, Sur la symétrie tétraédrique du globe terrestre. C. R. Ac. Sc., CXIII, 614—619, 1900.

— —, Traité de Géologie. Paris 1906.

Lapworth, C., The secret of the Highlands. Geol. Mag., 1883, p. 120.

Launay, L. de, La Science géologique. Paris 1905.

— —, The geology of the bottom of the seas. An. Rep. Smithson. Inst., 1914, 329 bis 353. Washington.

Lebling, K., Tektonische Forschungen in den Appalachen. Geol. Rundsch., Bd. V, Heft 8, 1915, 511.

Lemoine, P., Madagascar. Handb. regional. Geol., VII. Bd., 4. Abt. Heidelberg 1911.

Leuchs, K., Beobachtungen über fossile und rezente Wüsten. Geol. Rundsch., Bd. V, Leipzig 1914, 23—47.

— —, Die Bedeutung der Überschiebungen im zentralen Asien. Geol. Rundsch., Heft 2. Leipzig 1914.

— —, Zentralasien. Handb. regional. Geol., V. Bd., 7. Abt. Heidelberg 1916.

Lorenz, Th., Beiträge zur Geologie und Paläontologie von Ostasien. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., Bd. LVII, Berlin 1905, 438—497.

Loukaschewitsch, Sur le mécanisme de l'écorce terrestre et l'origine des continents. St. Pétersbourg 1910.

Lozinsky, v., Vulkanismus und Zusammenschub. Geol. Rundsch., IX, 1918, S. 65.

Lugeon, M., Les grandes nappes de recouvrement des Alpes du Chablais et de la Suisse. Bull. Soc. géol. France, 4. sér., I, p. 723—825, 1902.

— —, Sur l'origine des blocs exotiques du Flysch préalpin. Eclogae geol. helv., XIV, 217—219, 1916.

Lydekker, R., Die geographische Verbreitung und geologische Entwicklung der Säugetiere. 1901.

Machatschek, F., Der westliche Tianschan. Pet. Erg.-Heft 176.

— —, Über epirogenetische Bewegungen. Bibliothek geograph. Handbücher, N. F., Festband Albrecht Penk, 1918.

— —, Verebnungsflächen und junge Krustenbewegungen im alpinen Gebirgssystem. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, 1916.

Margerie, E. de und Heim, Alb., Les dislocations de l'écorce terrestre, 1888.

Marshall, P., Oceania. Handb. regional. Geol., Bd. VII, 2. Abt. Heidelberg 1911.

— —, New Zealand. Ebenda, Bd. VII, 1. Abt. Heidelberg 1911.

Martin, K., Ein Beitrag zur Frage nach der Entstehung des ostindischen Archipel. Geogr. Zeitschr., XIII, 1907, 437.

— —, Mesozoisches Land und Meer im indischen Archipel. N. J. f. M., 1907, I, 119.

Mercalli, G., Vulkani attivi delle terra. Milano 1907.

Meyer, O. E., Die Brüche von Deutsch-Ostafrika, besonders der Landschaft Ugogo. N. J. f. M., Beil.-Bd. XXXVIII, 1915, S. 805—881.

Michel, A. und Lévy, Sur la coordination de la repartition des fractures et des effondrements de l'écorce terrestre en relat. avec les épanchements volcaniques. Bull. Soc. géol. France, t. XXVI, sér. 3, 1908, 105—121.

Mojsisovics, E. v., Die Dolomitriffe von Südtirol und Venetien. Wien 1879.

Digitized by Google

Moeller, Th., Über die Kraftqnelle und die Äußerungsformen der großen tektonischen Vorgänge. Berlin 1916. Dissertation.

Montessus de Ballore, F., Les tremblements de terre. Géographie séismologique. La science séismologique. Paris 1906/7.

Moreno, F. P., Patagonia, resto de un antiguo continento hoy sumerojedo. Conferencia en la Sociedad cientifica Argentina, 1882.

Murray, J. und Philippi, E., Die Grundproben der deutschen Tiefsee-Expedition. Bd. X der „Wissensch. Erg. d. deutschen Tiefsee-Exped. auf dem Dampfer ‚Valdivia' 1898—1899". Jena 1908.

Wissenschaftl. Ergebnisse der Expedition nach dem Sichota Alin. Bnll. int. de l'Ac. des Sc. de Cracovie, 1912, Nr. 6a, p. 533—634. Daraus

Nowak, Jan., Grundzüge des Baues des Sichota-Alin-Gebirges, S. 602—631, 5 Textfig.

Nansen, F., The bathymetrical features of the Northpolar seas etc. In Norwegian North Polar Exp., 1893—1896, Scient. Res., Bd. IV.

Neumayr, M., Die geographische Verbreitung der Juraformation. Denkschr. d. k. Ak. d. Wiss., math.-nat. Kl., L. 1885, 57—442.

Oswald, F., Armenien. Handb. regional. Geol., V. Bd., 3. Abt. Heidelberg 1912.

Passarge, S., Physiologische Morphologie. Mitt. d. geogr. Ges. Hamburg, Bd. XXVI, 1912.

Paulcke, W., Das Experiment in der Geologie. Berlin 1912.

Peach, B. N. and Horne, J., The geological structure of the Northwest Highlands of Scottland. Mem. geol. Surv. Great. Britain. London 1907.

Penck, A., Die Entstehung der Alpen. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde. Berlin 1908.

— —, Morphologie der Erdoberfläche, I u. II.

Philippi, E., Über das Problem der Schichtung nnd über Schichtbildung am Boden der heutigen Meere. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., LX, 1908, 352—360.

— —, Über Schichtbildung am Boden der heutigen und vorweltlichen Meere. Int. Rev. d. geol. Hydrobiol. usw., II, 1909, 1—9.

Philippson, Reisen und Forschnngen in Kleinasien. Pet. Erg.-Hefte 167, 172, 177, 180.

— —, Kleinasien. Handb. d. regional. Geol., V. Bd., 2. Abt. Heidelberg 1918.

Pickering, H. W., The place origin of the moon — the volcanic problem. Journ. of Geol., vol. XV, 1907, 23—38.

Pockels, F., Änderungen der Rotationsgeschwindigkeit der Erde als geologischer Faktor. Geol. Rundsch., Bd. II, S. 141—144, 1911.

— —, Die Ergebnisse der neueren Erdbebenforschung in bezug anf die physikalische Beschaffenheit des Erdinnern. Ebenda, Bd. I, S. 249 - 268, 1910.

Powell, J. W., An Hypothesis to Account for the Movement in the Crust of the Earth. Jonrn. of Geol., vol. VI, ser. 1—9. Chicago 1898.

Prévost, C., Sur la théorie des soulèvements. Observations. Bull. Soc. Géol. France, 1. sér., X, p. 430; XI, 183—203, 1839—40.

Prior, G. T., Contributions to the Petrology of British East-Africa. Comparison of volcanic rocks from the great Rift Valley with rocks from Pantellaria, the Canary Islands etc. Min. Mag., 13, 1903.

Qniring, H., Die Entstehung der Schollengebirge. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., 1913, Bd. 65, 3. Heft, S. 4'8; 4. Heft, S. 433.

Ramsay, W., Orogenesis und Klima. Öfversigt af Finska Vetenskaps-Soc. Förhandl., 52, 1909/10, A, Nr. 11.

Ransome, Fr. L., The Directions of Movement and the nomenclature of fanlts. Economic Geology, I, 777—787, 1906.

Read, T. M., The evolution of the Earth structure with a theory of geomorphic changes. London 1903.

— —, The origin of the monntain Ranges. London 1886.

Digitized by Google

Reck, H., Vulkanologische Beobachtungen an der deutsch-ostafrikanischen Mittellandbahn. Zeitschr. f. Vulkanologie, Bd. I, Heft 2, Berlin 1914, S. 78.

Reibisch, P., Ein Gestaltungsprinzip der Erde. 27. Jahresber. d. Vereins f. Erdkunde zu Dresden 1901, S. 105—124; II, ibid. 1905, S. 39—53.

Reid, H. E., Geometry of faults. Geol. Soc. Am. Bull., vol. 20, 1909, 176—196.

Renevier, E., Les faciès géologiques. Arch. des Sc. phys. et nat., 3. sér., XII, 297—339. 1884.

Report of the Committee on the Nomenclature of Faults. By H. F. Reid, W. M. Davis, A. C. Lanson, F. L. Ransome. Bull. of the Geol. Soc. of Am., vol. 24, 1913, Nr. 2.

Reyer, Theoretische Geologie. Stuttgart 1888.

Richard, l'Océanographie. Paris 1910.

Richthofen, F. v., Über Gebirgsketten in Ostasien. Geomorphologische Studien aus Ostasien. Sitzungsber. d. kgl. Preuß. Ak. Berlin, phys.-math. Kl., 1903, Bd. 40.

Rimbach, C., Versuche über Gebirgsbildung. N. Jahrb. f. Min., Beil.-Bd. 35, 1913.

Robin, Aug., La Terre. Ses aspects, sa structure, son evolution. Paris 1906.

Rudolph, E., Über die geographische Verteilung der Epizentralgebiete von Weltbeben und ihre Beziehungen zum Bau der Erdrinde. Compt. Rend., XI. Sess., Congr. Géol. Int., Stockholm 1910, T. 2.

Rudzki, M. P., Physik der Erde. Leipzig 1911.

Rühl, A., Isostasie und Peneplain. Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde, Berlin 1911, 479—485.

Rutherford, E., Radioactivity. Cambridge 1905.

Sacco, F., Essai sur l'orogénie de la terre. Turin 1895.

— —, Les lois fondamentales de l'orogénie de la terre. Turin 1906.

— —, La Courbe hypsographique de l'écorce terrestre. Saggi di Astronomia pop. Anno II. Torino 1912.

Salisbury, R. D., Physiography. London 1907.

Salomon, W., Tote Landschaften und der Gang der Erdgeschichte. Sitzungsber. d. Heidelberger Akad. d. Wiss., math.-nat. Kl., Abt. A, 1918, 1. Abh.

Sapper, K., Beiträge zur Geographie der tätigen Vulkane. Zeitschr. f. Vulkanologie, 1917, Bd. III, S. 65—197, Taf. VII—XXIII.

Schaffer, F. X., Begriff und Einteilung der Absatzgesteine. Geol. Rundsch., Bd. VI, 1915, S. 217.

Schardt, H., Die modernen Anschauungen über den Bau und die Entstehung des Alpengebirges. Verh. d. Schweiz. Naturforsch.-Gesellsch., 89. Jahresversammlg. St. Gallen 1906.

— —, Sur l'Origine des Alpes Romandes. Eclogae Geol. Helvet., vol. IV, 1893 bis 1896, p. 129.

Schmidt, W., Mechanische Probleme der Gebirgsbildung. Mitt. d. geol. Ges. Wien, VIII, 1915, S. 62—115.

Schneider, K., Zur Frage über die Ursachen geotekt. Bewegungen. Geol. Rundsch., Bd. VIII, Heft 1/2, 1917.

— —, Die vulkanischen Erscheinungen der Erde. Berlin 1911.

Schott, G., Physische Meereskunde, 2. Aufl. Leipzig (Göschen-Sammlung).

Schuchert, Ch., Paleogeography of North America. Bull. Geol. Soc. Am., XX, 1910.

Schulz, B., Die Frage der Permanenz der Ozeane und Kontinente. An. Hydr., XLVI, Berlin 1918, 332—337.

Schwarz, E. H. L., Causal Geology. London 1910.

— —, The fault system in the south of South Africa. South. Afric. J. of Sc. Kapstadt, XII, 1916, 367—382.

— —, The Atlantic and Pazific types of coast. Geogr. Journ., vol. 40, 294—299.

Sederholm, J. J., Über Bruchlinien mit besonderer Berücksichtigung auf die Geomorphologie Fennoskandia. Compt. Rend., XI. Congr. Géol. int., 1910, Stockholm, II. fasc., p. 865.

Digitized by Google

Seidlitz, W. v., Das Sarekgebirge in Schwedisch-Lappland. Geol. Rundsch., II, 1911, S. 25.

Semper, M., Das Klimaproblem der Vorzeit. Geol. Rundsch., Bd. I, 1910, 57–80. Besprechungen mit umfangreichem Literaturverzeichnis.

— —, Die Grundlagen paläogeographischer Untersuchungen. Zeitschr. f. M., 1908, 434—445.

— —, Zur eocänen Geographie des nordatlant. Gebietes. Ebenda, 1913, 234—242.

Sieberg, A., Der Erdball, seine Entwicklung und seine Kräfte.

— —, Handbuch der Erdbebenkunde. Braunschweig 1904.

Simroth, H., Die Pendulationstheorie. Leipzig 1907.

Smoluchowski, M., Über ein gewisses Stabilitätsproblem der Elastizitätslehre und dessen Beziehung zur Entstehung von Faltengebirgen. Anz. d. Ak. d. Wiss. Krakau, math.-nat. Kl., 1909 und Geol. Centralbl., 14, Nr. 1410.

Soddy, F., Radioaktivität. Leipzig 1904.

Soergel, W., Das Problem der Permanenz der Ozeane und Kontinente. Habilitationsvortrag. Stuttgart 1917. E. Schweizerbart.

Sollas, W. J., The Age of the Earth. London 1905.

Spitaler, R., Periodische Verschiebungen des Schwerpunktes der Erde. Sitzungsber. d. k. Akad. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Bd. CXIV, 1905, 695–716.

— —, Die Achsenschwankungen der Erde als Ursache geotektonischer Vorgänge. Ebenda, Bd. CXVI, Abt. 2a, 1907.

Staff, H. v., Zur Morphogenie der Präglaziallandschaft in den Westschweizer Alpen. Zeitschr. d. Deutsch. geol. Ges., Bd. LXIV, 1912, 1—80.

Stahl, A. F., Persien. Handb. d. region. Geol., V. Bd., 6. Abt. Heidelberg 1911.

Staub, R., Zur Tektonik der südöstlichen Schweizer Alpen. Beiträge z. geol. Karte d. Schweiz, N. F., Lief. 46, I. Abt., 1916.

— —, Über Faziesverteilnng und Orogenese in den südöstlichen Schweizer Alpen. Ebenda, Lief. 46, III. Abt., 1917.

Steinmann, G., Geologische Beobachtungen in den Alpen. II. Die Schardtsche Überfaltungstheorie und die geologische Bedeutung der ophiolitischen Massengesteine. Ber. d. Naturf.-Ges. Freiburg i. B., XVI, 1905, 18—57.

— —, Gebirgsbildung und Massengesteine. Geol. Rundsch., Bd. I, S. 13, 1916.

Stille, H., Die mitteldeutsche Rahmenfaltung. 3. Jahresber. d. Niederrh.-sächs. Geol.-Vers. zu Hannover, 1910.

— —, Hebnng und Faltung im sogenannten Schollengebirge. Monatsber. d. Deutsch. geol. Ges. Berlin, 1916, S. 269.

— —, Senknngs-, Sedimentations- und Faltungsräume. Compt. rend., XI. Congr. géol. int., 1910, fasc. II, Stockholm 1912, S. 823.

— —, Tektonische Evolutionen und Revolutionen in der Erdrinde. Leipzig 1913.

Stolley, E., Über die Kreideformation nnd ihre Fossilien auf Spitzbergen. Kongl. Svenska Vetenskaps ak. Handl., Bd. 47, Nr. II, 192.

Suess, E., Are great Ocean Depths permanent? Nat. Sec. II, 1893, 180—187.

— —, Das Antlitz der Erde, I—III. Wien u. Leipzig 1886.

— —, Die Entstehnng der Alpen. Wien 1875.

— —, Die Zerlegung der gebirgsbildenden Kräfte. Mitt. d. geol. Ges. Wien, Bd VI, 1913, 3.

— —, Face de la Terre. Paris 1909.

— —, Über Assymetrie der nördlichen Halbkngel. Sitzungsber. d. k. Ak. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Bd. CVII, S. 89–102.

Suess, F. E., Die moravischen Fenster. Denkschr. d. Ak. d. Wiss. math.-nat. Kld., Bd. 88, Wien 1912.

Supan, A., Die Bodenformen des Weltmeeres. Pet. Mitt., 1899, 177, Karte.

— —, Grundzüge der physischen Erdkunde. Leipzig 1908.

— —, Terminologie der wichtigsten unterseeischen Bodenformen. Pet. Mitt., 1903, 151.



Tammann, G., Kristallisieren und Schmelzen. Leipzig 1903.
Tams, E., Drehwage und die Schweremessungen in ihrer Bedeutung für die Geologie. Geol. Rundsch., Bd. X, S. 1, 1919.
Taylor, F. B., On the Crumpling of the Earth's Crust. American Journal of Science, 3. sér., Vol. XXX, p. 259—277, 1885.
— —, Bearing on the Tertiary Mountain Belt on the Origin of the Earth Plan. Bull. Geol. Soc. Am., XXI, 1910, 179—226.
Termier, G., L'Atlantide. Bull. Inst. Océanogr., CCLVI, 1913.
Tornebohm, A. E., Grunddragen of det centrala Skandinavien berg byg gnad. K. Svensk. Vet. Ak. Handl. Stockholm, 1896, Bd. 28. Deutsches Resüme.
Tornquist, A., Die Annahme der submarinen Erhebung des Alpenzuges. Sitzungsber. d. Preuß. Ak. d. Wiss., phys.-math. Kl., 1909, 4.
— —, Grundzüge der geologischen Formations- und Gebirgskunde. Berlin 1913.
Trabert, W., Eine mögliche Ursache der Vertiefung der Meere. Sitzungsber. d. Ak. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., 1911, Abt. 2a, 120.
— —, Kosmische Physik.
Uhlig, V., Die Fauna der Spitischiefer des Himalaya, ihr geolog. Alter und ihre Weltstellung. Denkschr. d. k. Ak. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., 1910, Bd. LXXXV.
— —, Die marinen Reiche des Jura und der Unterkreide. Mitt. d. geol. Ges. Wien, IV, 1911, 329—448.
Van Hise, Ch., A Treatise on Metamorphism. United States Geol. Survey, Monogr. XLVII, 1904.
Volz, W., Die Insel Pulo Laut bei SO. Borneo als Beispiel einer Hebung durch einen Massenerguß. N. Jahrb. f. Min., Beil.-Bd. 20, 1905.
Waagen, L., Wie entstehen Meeresbecken und Gebirge? V. d. G. R. A., 1907, 99—121.
Wahnschaffe, F., Neue Theorien über Gebirgsbildung. Programm d. kgl. Bergakad. für 1904 - 05, Berlin 1904, S. 1—26.
Walther, J., Die Geologie als historische Wissenschaft, 3 Bde. Jena 1893—94.
— —, Geschichte der Erde und des Lebens. Leipzig 1908.
Wegener, A., Die Entstehung der Kontinente. Pet. Mitt., 1912, I, 185—195, 253 bis 256, 305—309.
— —, Die Entstehung der Kontinente und Ozeane. Braunschweig 1915.
Wichert, E., Über die Massenverteilung im Innern der Erde. Nachtr. d. k. Ges. d. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., 1897.
Wilckens, O., Atlantis. Geol. Rundsch., 1913, Bd. IV, II, S. 441.
— —, Die Geologie von Neuseeland. Geol. Rundsch., Bd. VIII, Heft 3/4, 1917, 143.
— —, Grundzüge der tektonischen Geologie. Jena 1912.
Willis, B., A theory of continental structure applied to North America. Bull. Geol. Soc. Am., 1907, vol. XVIII, 389—411.
— —, Paleogeographic Maps of North Am. Journ. Geol., XVII, 1909.
— —, Principles of Paleogeography. Science XXXI, 1910, p. 241—260.
— —, Research in Chine, vol. I. Washington 1907.
— —, The Mechanics of the appalachian Structure. 13. Ann. Rept. U. S. Geol. Surv. Pt. II, 1893, 221—282.
Wolff, Zur Begriffsbestimmung und Gliederung der Faltungen. Z. f. Berg- u. Salinenwesen i. preuß. St., Bd. 64, 1916, H. 3, 189—205.
Woodward, H. B., History of Geology. New York u. London 1911.
Woodwarth, J. B., Geological expedition to Brasil and Chile 1908—1909. Hav. Coll. Mus. Comp. Zool., Bull., vol. 56, Nr. 1 (Geol. Serv., vol. 10), p. 1—137, 1912.
Zittel, A. v., Geschichte der Geologie und Paläontologie. München u. Leipzig 1899.

Digitized by Google

Inhaltsangabe.

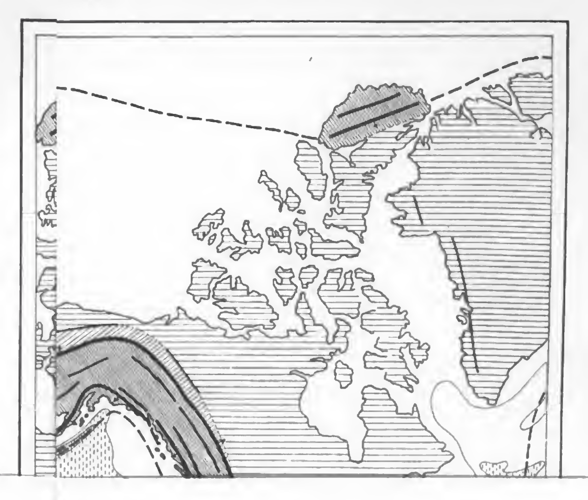
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

L.Karde



Digitized by

Digitized by Google

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Lehrbuch der Grundwasser- und Quellenkunde für Geologen, Hydrologen, Bohrunternehmer, Brunnenbauer, Bergleute, Bauingenieure und Hygieniker von **Geh. Bergrat Professor Dr. K. Keilhack**, Abteilungsdirigenten der Geologischen Landesanstalt in Berlin, Dozenten an der Technischen Hochschule in Charlottenburg. Zweite, neu bearbeitete und vermehrte Auflage. Mit einer Tafel und 267 Abbildungen. Gebunden 72 Mk.

Geologie von Baden von **Geh. Hofrat Professor Dr. W. Deecke**, Direktor der Badischen Geolog. Landesanstalt. Zwei Bände. Mit 122 Textabbildungen. Gebunden 104 Mk.

Genetische Morphologie von Baden auf geologischer Grundlage von **Geh. Hofrat Professor Dr. W. Deecke**, Direktor der Badischen Geolog. Landesanstalt. Mit 181 Textabb. Gebunden 86 Mk.

Geologie von Pommern von **Geh. Hofrat Professor Dr. W. Deecke**, Direktor der Badischen Geologischen Landesanstalt. Mit 40 Textabbildungen. Geheftet 30 Mk.

Geologie von Ostpreußen von **Professor Dr. A. Tornquist.** Mit Titelbild und zahlreichen Textabbildungen, Karten und Profilen. Geheftet 30 Mk.

Geologie von Westpreußen von **Professor Dr. P. Sonntag.** Mit zahlreichen Textabbildungen. Geheftet 28 Mk., gebunden 34 Mk.

Über die Grundlagen und Methoden der Biostratigraphie von **Professor Dr. Wedekind.** Mit 18 Textabbildungen und 1 Tafel. Geheftet 10 Mk.

Die Ursachen der diluvialen Aufschotterung und Erosion von **Dr. W. Soergel**, Privatdozent für Geologie und Paläontologie an der Universität in Tübingen. Mit 3 Textabb. *Unter der Presse*

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei



Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Leitfossilien. Ein Hilfsbuch bei der geologischen Arbeit in der Sammlung und im Felde von **Professor Dr. Georg Gürich.**

Erste Lieferung: **Kambrium und Silur.** Text: Bogen 1 bis 6 und Tafel 1 bis 28. Geheftet 45 Mk.

Zweite Lieferung: **Devon.** Bogen 7 bis 12 und Tafel 29 bis 52. Geheftet 45 Mk.

Die Wirbeltiere. Eine Übersicht über die fossilen und lebenden Formen von **Dr. O. Jaekel,** Professor an der Universität Greifswald. Mit 281 Textabbildungen. In Leinen gebunden 40 Mk.

Lehrbuch der Paläobotanik von **Geheimen Bergrat Professor Dr. H. Potonié.** Zweite Auflage, nach dem Tode des Verfassers bearbeitet von **Professor Dr. W. Gothan,** Dozent an der Technischen Hochschule Charlottenburg. Mit Beiträgen von **Sanitätsrat Dr. P. Menzel** und **Dr. J. Stoller.** Mit zahlreichen Textabbildungen. Geheftet 80 Mk., gebunden 97 Mk. 50 Pfg.

Palaeobotanisches Praktikum von **Geheimen Bergrat Professor Dr. H. Potonié** und **Professor Dr. W. Gothan.** Mit je einem Beitrag von Dr. J. Stoller und A. Franke. Mit 14 Textabbild. Gebunden 15 Mk.

Palaeozoologisches Praktikum von **Professor Dr. Ernst Stromer** von Reichenbach. Mit 6 Textabbildungen. Leicht kartoniert 10 Mk.

Vergleichende biologische Formenkunde der fossilen niederen Tiere von **Professor Dr. E. Dacqué.** *Unter der Presse*

Handbuch der Palaeogeographie von **Professor Dr. Theodor Arldt.** Erster Band. Mit 76 Textabb. Geheftet 100 Mk. Zweiter Band. I. u. II. Teil. Geheftet Vorzugspreis 120 Mk. 50 Pfg.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

Digitized by Google

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Allgemeine Palaeontologie. Geologische Fragen in biologischer Betrachtung von **Geh. Regierungsrat Professor Dr. Johannes Walther,** Direktor des Geologischen Institutes der Universität Halle (Saale). I. u. II. Teil. Geheftet 33 Mk.
III. (Schluß)-Teil: Unter der Presse.

Palaeontologische Zeitschrift. Organ der Palaeontologischen Gesellschaft. Herausgegeben von **Professor Dr. O. Jaekel.** Erscheint in zwanglosen Heften, die zu Bänden von etwa 24 Bogen vereinigt werden. Mit vielen Textabbildungen und Tafeln.
Band I—III liegen abgeschlossen vor. Band IV befindet sich im Erscheinen. Preis des Bandes geheftet 75 Mk.

Die Entstehung der Steinkohle und der Kaustobiolithe überhaupt wie des Torfs, der Braunkohle, des Petroleums usw. von **Geheimen Bergrat Professor Dr. H. Potonié,** nach dem Tode des Verfassers durchgesehen von **Professor Dr. W. Gothan,** Kustos an der Preuß. Geol. Landesanstalt und Dozent an der Technischen Hochschule Charlottenburg. Sechste, sehr stark erweiterte Auflage mit zahlreichen Abbildungen.
Geheftet 44 Mk., gebunden 54 Mk.

Deutschland. Dargestellt auf Grund eigener Beobachtung, der Karten und der Literatur von **Dr. Gustav Braun,** ord. Professor der Geographie an der Universität Basel. 2 Bände: Textband mit XI u. 383 Seiten, Tafelband mit 33 Tafeln, Erläuterung und 10 Beilagen. Geheftet 42 Mk., in 2 Halbleinenbänden 61 Mk.

Geographische Beobachtung. Abschiedsworte an meine Wiener Schüler und Antrittsvorlesung an der Universität Berlin von **Professor Dr. Albrecht Penck.** Geheftet 5 Mk.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

Digitized by Google

Verlag von Gebrüder Borntraeger in Berlin W 35

Ostalpine Formenstudien herausgegeben von **Dr. Friedrich Levy.**

Abt. I Heft 1: Diluviale Talgeschichte des Werdenfelser Landes und seiner Nachbargebiete von **Dr. Friedrich Levy.** Mit 17 Textabbildungen. Geheftet 12 Mk.

Abt. III Heft 1: Zur Morphologie der Lessinischen Alpen von **Dr. R. von Klebelsberg.** Mit einer Karte. Geheftet 16 Mk.

Die belgischen Kohlenlagerstätten nach den Ergebnissen der neuesten Tiefbohrungen von **Dr. Gotthard Würfel.** Mit einer Karte. Geheftet 6 Mk.

Die wichtigsten Lagerstätten der „Nicht-Erze" von **Dr. O. Stutzer,** Professor an der Bergakademie Freiberg, Sa.

Erster Band: **Graphit, Diamant, Schwefel, Phosphat.** Mit 108 Textabbildungen. Gebunden 62 Mk.

Zweiter Band: **Kohle** (allgemeine Kohlengeologie). Mit 29 Tafeln und 113 Textabbildungen. Gebunden 62 Mk.

Geologie der Steinkohlenlager von **Professor Dr. H. Dannenberg.** Erster Band. Mit 6 Tafeln und 189 Textabb. Gebunden 126 Mk.

Lehre von den Erzlagerstätten von **Geh. Oberbergrat Professor Dr. Richard Beck.** Dritte, umgearb. Auflage. Zwei Bände mit 318 Figuren und einer Gangkarte. Gebunden 140 Mk.

Die mikroskopische Untersuchung der Erzlagerstätten von **Dr. Georg Berg,** Diplom-Bergingenieur. Mit 88 Textfiguren. Geheftet 21 Mk., gebunden 30 Mk.

Die kristallinen Schiefer. Eine Darstellung der Erscheinungen der Gesteinsmetamorphose und ihrer Produkte von **Professor Dr. U. Grubenmann.** Zweite, neubearbeitete Auflage. Mit 23 Textfiguren und 12 Tafeln. Geheftet 60 Mk., gebunden 72 Mk.

Ausführliche Verlagsverzeichnisse kostenfrei

Digitized by Google

THIS BOOK IS DUE ON THE LAST DATE
STAMPED BELOW

RENEWED BOOKS ARE SUBJECT TO IMMEDIATE
RECALL

LIBRARY, UNIVERSITY OF CALIFORNIA, DAVIS

Book Slip-50m-9,'70(N9877s8)458—A-31/5,6

Digitized by Google

Call Number:

749454
Kober, L.
Der bau der erde.

QE501
K57

Nº 749454

Kober, L.
Der bau der erde.

QE501
K57

PHYSICAL
SCIENCES
LIBRARY

LIBRARY
UNIVERSITY OF CALIFORNIA
DAVIS

Digitized by Google

Digitized by Google